Über das Verhalten der Hautwasserabgabe und der Hauttemperatur, sowie des elektrischen Hautwiderstandes und des Hautturgors während eines Dauerversuches in einem Klimaraum

Gerd Hohlbach

1972

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie
und Klimatologie der Universität M ü n c h e n
Direktor: Prof. Dr. J. L i s s n e r

ÜBER DAS VERHALTEN DER HAUTWASSERABGABE UND DER HAUTTEMPERATUR, SOWIE DES ELEKTRISCHEN HAUTWIDERSTANDES UND DES HAUTTURGORS WÄHREND EINES DAUERVERUCHES IN EINEM KLIMARAUM

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der Ludwig - Maximilian - Universität zu München vorgelegt

von

Gerd H o h l b a c h

aus

E r d i n g

1971

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der
Universität München

Referent: Dipl.Phys. K. Dirnagl

Koreferent: Prof.Dr.med. J. Lissner

Dekan: Prof.Dr.med. W.Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 8.2.1972

DISSERTATIONS- UND FOTODRUCK FRANK oHG
8 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2 8 0 9 0 9 0

Meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	2
2. 1. Zur Hauttemperatur und Hautwasserabgabe	2
2. 1. 1. Wärmebildung	2
2. 1. 2. Wärmeabgabe	2
2. 1. 3. Rumpf und Extremitäten im Dienst der Wärmeregulation	3
2. 1. 4. Bedeutung und Mechanismus der Hauttemperatur und Hautwasserabgabe für die Wärmeregulation	4
2. 1. 5. Faktoren, die die Hauttemperatur und die Hautwasserabgabe beeinflußen	5
2. 1. 6. Wirkung der Klimafaktoren	6
2. 1. 7. Rhythmische Veränderungen der Hauttemperatur und der Hautwasserabgabe	8
2. 1. 8. Kybernetik der Wärmeregulation	9
2. 2. Zur Elektrodermatometrie	12
2. 2. 1. Elektrische Vorgänge an der Haut	12
2. 2. 2. Faktoren, die den Hautwiderstand beeinflußen	15
2. 3. Zur Hautturgormessung	17
2. 3. 1. Begriffsbestimmung	17
2. 3. 2. Faktoren, die den Hautturgor beeinflußen	19
3. Problemstellung	21
4. Methodik	22
4. 1. Versuchsbedingungen	22
4. 1. 1. Raumbedingungen	22

4. 1. 2. Versuchspersonen 25
4. 1. 3. Meßzeiten 25
4. 1. 4. Physiologische Bedingungen 26

4. 2. Bestimmung der Hautwasserabgabe und der Hauttemperatur 26

4. 2. 1. Meßapparatur 26
4. 2. 2. Meßprinzip 28
4. 2. 3. Eichung und Messung 30

4. 3. Messung des elektrischen Hautwiderstandes (Elektrodermatometrie) 34

4. 3. 1. Meßapparatur 34
4. 3. 2. Meßvorgang und Meßprinzip 34
4. 3. 3. Meßstelle 35

4. 4. Messung des Hautturgors 35

4. 4. 1. Meßapparatur 35
4. 4. 2. Meßvorgang und Meßprinzip 37
4. 4. 3. Meßstelle 37

4. 5. Hinweise auf die Methodik der Auswertung 37

4. 5. 1. Varianzanalyse 38
4. 5. 2. Korrelationsanalyse 38
4. 5. 3. Trendbereinigung 39
4. 5. 4. Tagesziffer in der Kreuzproduktmatrix 39
4. 5. 5. Kurvendiskussion 39
4. 5. 6. Erklärung der Zeichen und Definitionen 40
4. 5. 7. Erklärung zu den Zeichen der Computerkurven 41

5. Ergebnisse 42

5. 1. Zur Hautwasserabgabe und Hauttemperatur 42

5. 1. 1. Korrelationsbeziehungen im Periodenverhalten 42
5. 1. 2. Korrelationsbeziehungen im Tagesverhalten 43

5. 1. 3. Trendbeziehungen 44
5. 1. 4. Varianzanalyse 44

5. 2. Ergebnisse der Elektrodermatometrie 54

5. 2. 1. Korrelationsbeziehungen 54
5. 2. 2. Trendbeziehungen 55
5. 2. 3. Varianzanalyse 55

5. 3. Ergebnisse zur Hautturgormessung 63

5. 3. 1. Kurvendiskussion und Korrelationsbeziehungen 63
5. 3. 2. Trendbeziehungen 64
5. 3. 3. Varianzanalyse 64

6. Diskussion 70

6. 1. Kritik der Versuchsbedingungen 70

6. 2. Zur Hautwasserabgabe und Hauttemperatur 71

6. 2. 1. Kritik der Methode 71
6. 2. 2. Zu den Ergebnissen der Hautwasserabgabe und Hauttemperatur 72

6. 3. Zur Elektrodermatometrie 81

6. 3. 1. Kritik der Methode 81
6. 3. 2. Zu den Ergebnissen der Elektrodermatometrie 84

6. 4. Zur Hautturgormessung 87

6. 4. 1. Kritik der Methode 87
6. 4. 2. Zu den Ergebnissen der Hautturgormessung 89

7. Zusammenfassung 93

8. Literaturverzeichnis 95

1. Einleitung

Heute kommt den Wettervorgängen in der Medizin sowohl von therapeutischer, als auch von der pathogenetischen Seite her große Bedeutung zu.

Die Zivilisation hat dem Menschen durch die Änderung seiner Lebensgewohnheiten, die Art seiner Behausung, seiner Bekleidung, seiner Ernährung eine wesentliche Verschmälerung der Erträglichkeitsgrenzen klimatischer Umweltschwankungen gebracht (18). So fordert T o p i t z (72) von therapeutischer Seite, daß der Mensch Klimareize auf sich einwirken lassen muß, um sein Vegetativum zu stimulieren.

In jüngerer Zeit ist ein neuer Wissenschaftszweig herangewachsen, der sich mit der Abhängigkeit des Menschen von athmosphärischen Zuständen und Vorgängen befaßt, die Medizinmeteorologie. Die Wirkung des atmosphärischen Umweltmilieus auf den menschlichen Körper wird hier als das Aufeinanderwirken zweier komplexer Systeme verstanden, die nach G e p p e r t (10) aus einer Vielzahl unübersehbarer Einzelfaktoren bestehen.

Der Haut kommt hier innerhalb des menschlichen Organismus eine besondere Bedeutung zu, da sie sowohl als Rezeptor, als auch als Effektor in direktem Kontakt mit dem Umweltmilieu steht. P f l e i d e r e r (56) hat die Haut als Reflexgeber der ganzen Organphysiologie bezeichnet.

2. Literaturübersicht

2. 1. Zur Hauttemperatur und Hautwasserabgabe:

Der Mensch ist, als homoiothermes Wesen in der Lage, seine Körperinnentemperatur innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches konstant zu halten. Dabei stehen ihm grundsätzlich zwei Mechanismen zur Verfügung:

a) die Wärmebildung
b) die Wärmeabgabe

2. 1. 1. Die Wärmebildung ist unter Ruheumsatzbedingungen eine Konstante, die sich beim Ruhenden nur bei äußerer Wärmezufuhr, wohl infolge der RGT-Regel (73), sowie in Kälte, als kompensatorische Größe (71) ändert. Den Bereich, innerhalb dessen keine zusätzliche Wärme gebildet wird, nennt man "thermische Neutralzone". Sie liegt beim ruhenden Nackten bei 28 - 30 Grad Celsius Raumtemperatur, beim Bekleideten bei $24^{\circ} \pm 2^{\circ}$ (73,4). Die Wärmebildung ist jedoch auch willkürlich durch jede Steigerung der Stoffwechselaktivität, z. B. körperliche Arbeit, Essen usw. (7,4) zu steigern. Als eigentlich frei bewegliche Variable im menschlichen Temperaturregelkreis kommt deshalb die Wärmeabgabe in Frage.

Hier gewinnt das Verhalten der Haut als Erfolgsorgan der Wärmeregulierung und als Rezeptor von äußeren Störeinflüssen an Interesse.

2. 1. 2. Die Wärmeabgabe der Haut erfolgt durch

2. 1. 2. 1. Strahlung

2. 1. 2. 2. Leitung und Konvektion

2. 1. 2. 3. Verdunstung

Die Wärmeverluste durch Atemkonvektion und Atemverdunstung sind quantitativ verhältnismäßig klein; vielleicht sind diese aber als Steuerfunktion der Wärmeregulation von Bedeutung.

2. 1. 2. 1. Die abgestrahlte Wärmemenge Q_s ist nach dem Stefan - Boltzmannschen Gesetz mathematisch faßbar

$$Q_s = F_s \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T^4_{Haut} - T^4_{Umgebung}) \quad cal/cm^2 \ min \quad (29)$$

und beträgt ungefähr 60% (73) der Gesamtwärmeabgabe durch die Haut. Sie liegt bei $8{,}3 \times 10^{-3}$ cal/cm^2 min ^{o}C (7).

Die Temperaturstrahlung des Körpers ist hauptsächlich langwellig und enthält vor allem Emissionsspektren von Wasser und Hämoglobin (27).

2. 1. 2. 2. Die Wärmeverluste durch Leitung und Konvektion (Q_{LK}) gehorchen der von Büttner aufgestellten Gleichung

$$Q_{LK} = F \cdot \alpha \cdot (T_{Haut} - T_{Luft}) \quad cal/cm^2 \ min \quad (29)$$

Sie schwanken zwischen $4{,}0 - 6{,}0 \times 10^{-3}$ cal/cm^2 min ^{o}C. α hängt von der Windgeschwindigkeit v folgendermaßen ab

$$\alpha = 0{,}021 . \sqrt{v} \quad cal/cm^2 \ min \ ^{o}C \quad (81,29)$$

Etwa 13 % (73) der Gesamtwärmeverluste des Körpers sind durch Leitung und Konvektion bedingt.

2. 1. 2. 3. Bei Verdunsten von 1g Wasser werden dem Körper 580 cal Wärme entzogen (7). Die Wärmeabgabe der Haut durch Verdunsten (Q_v) berechnet sich nach

$$Q_v = F \cdot \beta \cdot (e_{Dampfdruck\text{-}Haut} - e_{Dampfdruck\text{-}Luft})$$

wobei die Verdunstungszahl β etwas vom Luftdruck abhängig ist.

Die in 2. 1. 2. 1. - 2. 1. 2. 3. gemachten Angaben beziehen sich am nackten Körper auf einen mittleren Temperaturbereich um 20 ^{o}C, bei etwa 50% Luftfeuchte und Windstille.

2. 1. 3. Rumpf und Extremitäten im Dienst der Wärmeregulation

Die im Körper gebildete Wärme wird durch das zirkulierende Blut unter konvektiver Überbrückung der schlecht wärmeleitenden Körperschale vom Wärmekern weg zur Peripherie, das heißt insbesondere zu den Extremitäten, gebracht (7). Die Wärmeabgabe einer Extremität gehorcht jedoch nicht dem Newtonschen Auskühlungsgesetz. Obwohl dies streng nur für physikalische Körper konstanter Wärmeleitzahl gilt, wurde aus den experimentell gefundenen Auskühlungskurven einer

Extremität auf aktive Regulationsmechanismen der Wärmeabgabe geschlossen (5,6). Tatsächlich sind die Extremitäten zur Wärmeregulierung besonders gut geeignet, weil ihre Durchblutungsverhältnisse stark variabel sind und sie im Verhältnis zu ihrem Volumen große Oberflächen haben (4). So kann beispielsweise die Durchblutung am Finger im Verhältnis 1 : 600, an der Hand 1 : 30, am Rumpf hingegen nur 1 : 7 geändert werden (7). Die Durchblutungsänderungsmöglichkeit selbst breitet sich wellenförmig von distal nach proximal in einer Extremität aus, das heißt es wird erst die Durchblutung des Fingers, dann die der Hand, darauf die des Unterarms usf. geändert (79). Es sind auch vasomotorische Unterschiede zwischen den einzelnen Extremitäten auf einen Reiz hin festgestellt worden. Die untere Extremität zeigt ausgeprägtere vasomotorische Reaktionen als die obere (66). An den Extremitäten ist ein sehr gut funktionierendes Wärmeaustauschsystem, dargestellt durch die Arteriae und Venae comitantes wirksam, das durch Eröffnung arteriovenöser Anastomosen, sowie Eröffnung subcutaner venöser Strombahnen in seiner Wirkung variiert werden kann (4).

2. 1. 4. Bedeutung und Mechanismen der Hauttemperatur und der Hautwasserabgabe für die Wärmeregulation.

2. 1. 4. 1. Die H a u t t e m p e r a t u r nimmt direkten Einfluß auf die Wärmeabgabe durch Strahlung, Konvektion und Leitung, indem sie den Temperaturgradienten zwischen Haut und Umgebung in relativ großen Grenzen variieren kann (80). Das trifft besonders für die Extremitäten zu, die ein mehr poikilothermes Verhalten (73) zeigen, während die Hauttemperatur des Rumpfes und der Stirn enger an die Kerntemperatur gekoppelt sind (4), und sich deshalb mehr homoiotherm verhalten.

Die Hauttemperatur nimmt außerdem durch Regelung des Wasserdampfdruckes in und über der Haut Einfluß auf die Hautwasserabgabe.

Die Hauttemperatur und die Hautdurchblutung gehen innerhalb bestimmter Grenzen parallel (28), dennoch ist

A s c h o f f (4,7) der Ansicht, daß die Hauttemperatur nur mit Einschränkung als Maß der Durchblutung betrachtet werden darf, da sie sowohl von inneren als auch von äußeren Faktoren zusätzlich beeinflußt wird (siehe weiter unten).

2. 1. 4. 2. Die H a u t w a s s e r a b g a b e setzt sich zusammen aus der Perspiratio sensibilis und insensibilis. Bei Verdunsten von 1g Wasser werden dem Körper dabei 580 cal Wärme entzogen.

Entgegen früheren Anschauungen (57, 33, 34) konnte jetzt nachgewiesen werden, daß die Perspiratio insensibilis, die uns hier hauptsächlich beschäftigen soll, weder aus einem reinen Diffusionsanteil noch aus einem reinen Sekretionsanteil besteht (35). Sie besteht aus einem variablen, sowohl durch adrenerge als auch cholinerge Schweißdrüsen gesteuerten Sekretionsanteil und einem Diffusionsanteil, im Verhältnis von etwa 1 : 13 (67,2). Die Perspiratio sensibilis kommt durch ekkrine, sympathisch cholinerge (Wärmeschwitzen) und apokrine, sympathisch adrenerge (emotionelles Schwitzen) Schweißdrüsen zustande (28,7). Die Hautwasserabgabe ist eine Potenzfunktion der Differenz der Sättigungsdrucke bei Hauttemperatur und dem Wasserdampfdruck der Luft; das bedeutet, daß sie bei hohe Feuchtegraden relativ unabhängig von der Luftfeuchte ist (7).

2. 1. 5. Faktoren, die die Hauttemperatur und die Hautwasserabgabe beeinflußen

2. 1. 5. 1. Konstitutionelle

2. 1. 5. 2. Pathologische

2. 1. 5. 3. Funktionelle

2. 1. 5. 4. Klimatische

2. 1. 5. 1. Die Hauttemperatur wird durch die Isolationskraft und die Wärmeleitfähigkeit der Schale, die hauptsächlich vom Fettanteil des Gewebes abhängt, bestimmt (4).

Die Hautwasserabgabe soll bei schlanken Personen größer als bei untersetzten (2), und bei weiblichen größer als bei männlichen (76) sein.

2. 1. 5. 2. Als pathologische Faktoren, die die Hauttemperatur und die Hautwasserabgabe beeinflußen, kommen zum Beispiel cereorale Hemiplegie, intracranielle Tumoren, Myelitis lumbosacralis, arterielle Verschlußkrankheiten und neurotische Vasopathien, Myxödem, Hyperthyreose, Sklerodermiea diffusa, Hyperhydrosis, Anhydrosis und andere (25) in Frage.

2. 1. 5. 3. Sämtliche funktionellen Geschehnisabläufe, die mit einer Änderung der Wärmebildung einhergehen, beeinflußen die Hauttemperatur und die Hautwasserabgabe: Zum Beispiel Nahrungsaufnahme (9, 64, 69, 4), Scham, Zorn, Erregung, Ermüdung, Muskelarbeit aber auch Erwartung, Unruhe, Angst, Schrecken, Furcht, Unlust (20).

Auch Änderungen der Körperoberfläche wirken sich auf die Hauttemperatur und die Hautwasserabgabe aus, so zum Beispiel das gegenseitige "Beschatten" gegenüberliegender Hautflächen, Zusammenkauern etc. (71).

2. 1. 5. 4. Für unsere Betrachtung sind die wichtigsten äußeren Störgrößen der Hauttemperatur und der Hautwasserabgabe die Klimafaktoren.

2. 1. 6. Wirkung der Klimafaktoren

2. 1. 6. 1. Nach R e m b o l d (60) ist ein Großklima bezüglich seiner Wirkung auf die Hauttemperatur und die Hautwasserabgabe von einem Kleinklima zu unterscheiden.

2. 1. 6. 1. 1. Das Großklima besteht nach seiner Darstellung aus folgenden wetterwirksamen Komponenten:

Luftmassenwechsel (Warmfront - Kaltfront)
Hochdruck, Tiefdruck
Luftkörper (kontinental, tropik - maritim, maritim)
Bewölkung, Bodenwind, Gewitter, Föhn
Erdmagnetisches Feld, Strahlung
Barometrische Unruhe, Interdiurne Veränderungen

2. 1. 6. 1. 2. Zum Kleinklima rechnet er folgende Faktoren:

Lufttemperatur, Wasserdampfdruck der Luft,
Abkühlungsgröße, Elektropotential

R e m b o l d untersuchte die Großklimaeinflüsse auf die Hauttemperatur und konnte eine positive Abhängigkeit der Hauttemperatur an Stirn, Kinn, Finger vom Luftmassenwechsel, Frontendurchgang, Luftdruck und eine negative Abhängigkeit vom Bodenwind feststellen.

Ebenso stand die Hauttemperatur in positiver Abhängigkeit von den Kleinklimafaktoren Lufttemperatur und Dampfdruck. Diese Abhängigkeiten waren am ausgeprägtesten an den Fingern.

2. 1. 6. 2. Von anderen Autoren wurden hauptsächlich die Kleinklimafaktoren Lufttemperatur und Luftfeuchte unter Einbeziehung der Windbewegungen in ihrer Wirkung auf die Hauttemperatur und die Hautwasserabgabe untersucht.

2. 1. 6. 2. 1. Einflüsse auf die Hauttemperatur

Bei konstanter Umgebungstemperatur und konstanter Windbewegung erhöht sich die Hauttemperatur mit steigender Luftfeuchte (80, 81). Auch wenn die Lufttemperatur und die Luftfeuchte gleichsinnig geändert werden, ändert sich die Hauttemperatur gleichsinnig (71). I a m p e t r o (39) ist aber der Auffassung, daß die Luftfeuchte, ebenso wie die Lufttemperatur, nur einen sehr geringen Einfluß auf die Hauttemperatur nimmt; am meisten beeinflußt nach seiner Darstellung die Windgeschwindigkeit die Hauttemperatur. Er arbeitet jedoch bei niedrigen Temperaturen von 10 - 14 °C. Auch A s c h o f f hat den senkenden Einfluß des Windes auf die Hauttemperatur beschrieben (7).

2. 1. 6. 2. 2. Einflüsse auf die Hautwasserabgabe

Bei konstanter Luftfeuchte und konstanten Windverhältnissen ist die Hautwasserabgabe nur wenig von der Lufttemperatur abhängig (7). Bei mittleren Lufttemperaturen verhält sich die Hautwasserabgabe reziprok zur Luftfeuchte, bei Lufttemperaturen, die über der Schwitzgrenze liegen, steigt die Hautwasserabgabe mit der Lufttemperatur an (71). Bei hohen Lufttemperaturen und hohen Luftfeuchten steigt die Hautwasserabgabe erheblich an (80). Die

Luftbewegung und der Wind sollen die Hautwasserabgabe nur wenig verändern (55, 50).

Die Hauttemperatur dagegen befindet sich in einem engen Zusammenhang mit der Hautwasserabgabe (50). So steigt die Hautwasserabgabe zwar mit der Hauttemperatur, nicht aber unbedingt mit der Lufttemperatur an (76). Bei niedriger Hauttemperatur und großer Luftfeuchte ist die Hautwasserabgabe am geringsten (55).

Aus diesen Ergebnissen ist zu ersehen, daß primär die Hauttemperatur durch die verschiedenen Kleinklimafaktoren beeinflußt wird und die Hautwasserabgabe hauptsächlich über die Hauttemperatur gesteuert wird, zumal da die Haut ja keine Dampfdruckrezeptoren besitzt. Außerdem ist zu sehen, daß nicht eine Klimakomponente die entscheidende Rolle spielt, sondern alle zusammen. B ü t t n e r hat den Begriff "Klimasumme" geprägt (81). Wichtig scheint die "effektive Temperatur" zu sein, die sich aus den Klimakomponenten Luftfeuchte, Lufttemperatur und Luftbewegung zusammensetzt.

2. 1. 7. Rhythmische Veränderungen der Hauttemperatur und der Hautwasserabgabe

Der gesamte Organismus unterliegt einer Rhythmik. Dabei ist eine Jahreszeitenrhythmik von einer Tagesrhythmik zu trennen.

H e e r d und O p p e r m a n n konnten nachweisen, daß die Hautwasserabgabe jahreszeitlichen Schwankungen mit einem Minimum im Winter und einem Maximum im Sommer unterliegt (54). S a s a k i (63) zeigte, daß sich ruhende, unbekleidete Versuchspersonen im Winter bei 18,5 °C thermoindifferent fühlten und eine Temperatursenkung von 30 auf 25 °C mit Umsatzsenkung beantworteten, während sie sich im Sommer bei 21,8 °C thermoindifferent fühlten und auf dieselbe Temperatursenkung mit Umsatzsteigerung reagierten.

Von den biologischen Tagesrhythmen kann man annehmen, daß sie der allgemein physikalischen Schwingungsgleichung annähernd folgen:

$$A\ddot{y} + B\dot{y} + Cy - D = 0 \quad (78)$$

Die Synchronisation der endogenen Periodik mit einer Schwankungsbreite von 21 - 27 Stunden pro Tag zum 24 - Stundenrhythmus geschieht hauptsächlich durch das Licht und die Temperatur (72, 78, 3). So zeigt die Kerntemperatur einen ∠4 - Stundengang mit einem Maximum um 19 - ∠3^{00} und einem Minimum um 1^{00}, während sich die Hauttemperatur über der Stirn, Hand und Fuß, entsprechend dem vormittäglichen Aufheizungsvorgang und dem nachmittäglichen Entwärmungsvorgang annähernd spiegelbildlich zur Kerntemperatur verhält (9, 38).

Die Hautwasserabgabe zeigt ebenfalls einen 24 - Stundengang, mit Tagesmaximalwerten (16).

2. 1. 8. Kybernetik der Wärmeregulation

W a g n e r hat 1925 erstmals die Willkürmotorik als System eines biologischen Regelkreises beschrieben. Seither wurde der Versuch gemacht, alle biologischen Vorgänge als Ineinandergreifen zahlreicher Regelsysteme zu betrachten. Die daraus entstehende junge Wissenschaft der Kybernetik wurde von Wiener (1948) begründet (74).

Auch die Wärmeregulation kann als biologischer Regelkreis betrachtet werden. Ein einfacher Regelkreis besteht aus einem Fühler, dem Schaltglied, dem Stellglied, und der Regelstrecke. Das Wesen eines Reglers besteht in der Verkopplung der eingehenden und der ausgehenden Information zu einer geschlossenen Kausalkette (13). Im Regelkreis des Wärmehaushaltes wäre die Regelstrecke 'R' die Blut- und Kerntemperatur, das Meßglied oder der Fühler 'F' die thermosensiblen Zellen, das Schaltglied oder der Kraftschalter 'K' das Zentralnervensystem, die Stellglieder 'S' hauptsächlich die Muskeln, Hautgefäße und Schweißdrüsen (73).

2. 1. 8. 1. Periphere Thermorezeptoren

Entgegen der Ansicht von B o m a n (15) konnte H e n s e l (36) das Bestehen von Kalt- und Warmrezeptoren nachweisen. B a z e t t (zit. n. 47) nimmt als anatomisches Substrat der Kaltrezeptoren die Krausschen Endkolben, als das der Warmrezeptoren die Ruffinischen Körperchen an, deren Potentiale auf A - Fasern (Ø 5 - 6 x 10^{-3} mm) geleitet werden.

Die Kaltrezeptoren sollen dabei im Bereich von 40 - 15 °C, die Warmrezeptoren von 25 - 40 °C Impulse aussenden. Die Impulscharakteristik soll der eines Proportional - Differential (PD) - Rezeptors entsprechen (56, 47, 13).

2. 1. 8. 2. Zentrale Thermorezeptoren

Im vorderen Hypothalamus sitzen Temperaturfühler, die auf Erhöhung der Bluttemperatur ansprechen (71). In Analogie zu diesem rostralen Kühlzentrum wird die Existenz eines dorsalen Erwärmungszentrums diskutiert (73, 7), dessen Bestehen jedoch nicht gesichert ist. F e l d b e r g konnte zum Beispiel zeigen, daß sich im vorderen Hypothalamus, besonders im Bereich des Nucleus supraopticus und paraventricularis und im Chiasma opticum, die biogenen Amine Noradrenalin und Adrenalin, die einen temperatursenkenden Effekt ausüben, und 5 - Hydroxytryptamin mit temperatursteigernder Wirkung isolieren lassen. Im hinteren Hypothalamus konnten diese Stoffe nicht gefunden werden (22).

2. 1. 8. 3. Bedeutung der endokrinen Drüsen

Die Nebennierenrinde reagiert auf einen Kaltreiz oder Warmreiz, das Nebennierenmark hingegen nur auf einen Kaltreiz mit verstärkter Aktivität (12, 7). Die Schilddrüse soll angeblich außer ihrer direkten Beeinflußung des Grundumsatzes durch die Schilddrüsenhormone auf den Wärmehaushalt auch durch die Produktion eines Kühlhormons Thermothyrin A und eines Erwärmungshormons Thermothyrin B wirken. Auch dem Thymus und den Sexualdrüsen, sowie dem Pankreas wird eine Beteiligung an der Gesamtwärmeregulation zugeschrieben. In welcher Beziehung die Drüsen zueinander stehen und ob sie durch die Bluttemperatur oder über das Hypothalamus - Hypophysensystem oder über beides gesteuert werden ist noch nicht endgültig geklärt (12, 7, 64).

Für die Regelung entscheidend dürfte die Impulssumme aus peripheren und zentralen Rezeptoren sein (11). Die Verkoppelung der in den Temperaturregelkreis eingehenden Größen kann auf nervalem, dem schnellen, und auf hormonellem, dem langsamen, Weg geschehen (74). Das System arbeitet als Folgeregler mit Störgrößen- und Führungsgrößenaufschaltung (15).

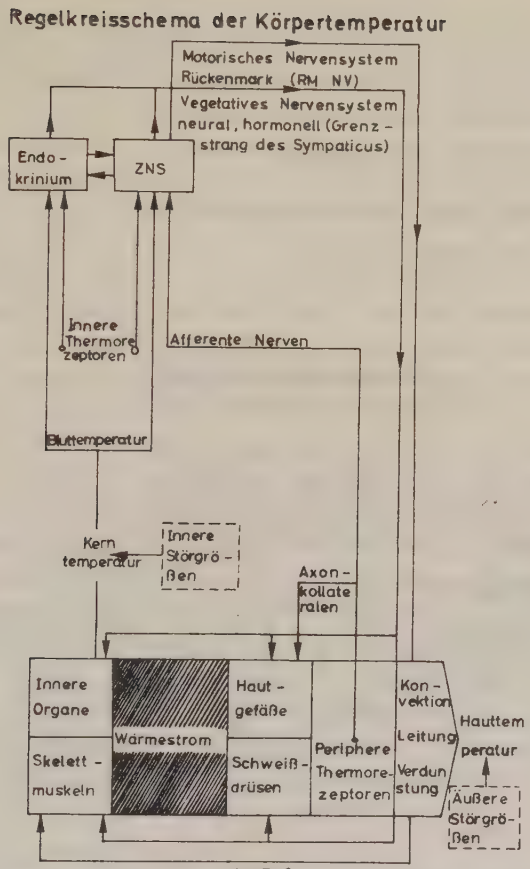


ABB 1

Als Führungsgrößen kommen dabei die im Absatz Rhythmik beschrieben Faktoren in Frage.

Bei den Störgrößen kann man zwischen äußeren und inneren unterscheiden. Die wichtigsten sind bereits weiter oben beschrieben worden. Für uns bleibt jedoch nur die Wirkung der Lufttemperatur und der Luftfeuchte als äußere Störgrößen interessant.

Nach den heutigen Vorstellungen kann man eine schematische Modelldarstellung vom Temperaturregelkreis des Körpers entwerfen (7, 11, 13, 28, 37). Siehe Abbildung I, Seite 11.

2. 2. Zur Elektrodermatometrie

2. 2. 1. Elektrische Vorgänge an der Haut

2. 2. 1. 1. Hautpotentiale

Elektrische Membranen in der Haut
Schematische Darstellung nach Ph. Keller

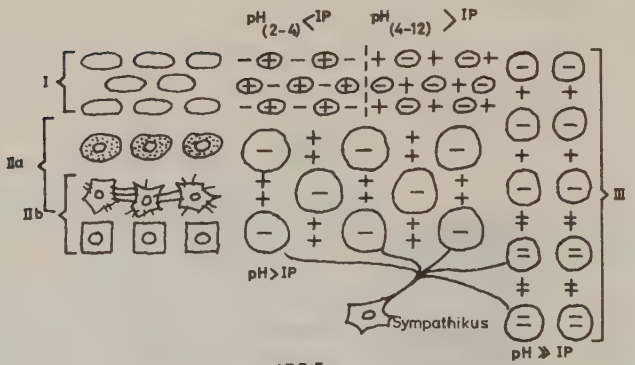


ABB II

I = stratum disjunktum: Schicht der Konzentrationseffekte, umladbar, keine Polarisation bei Durchströmung

IIa = stratum conjunktum: Schicht des Grundpotentials, empfindlich auf Druck und UV-Licht

IIa+b = Totale Epidermis: Maßgebend für Polarisation bei Durchströmung

III = Schweißdrüsen: Maßgebend für Tonuspotentiale

IP = Isoelektrische Punkt

Die Haut ist wie jede andere biologische Memoran polarisierbar. Die Verhältnisse sind hier jedoch infolge der Kompliziertheit des anatomischen Aufbaus wesentlich verwickelter als bei einfachen biologischen Membranen.

An der Haut sind "Grundpotentiale" von -30 bis ungefähr -60 mV ableitbar (Rein zit. nach 48). Der Sitz dieser Grundpotentiale ist nach Szakall das Stratum conjunktum.

Das bedeutet aber nicht, daß die Haut immer elektronegativ geladen ist. Der isoelektrische Punkt der oberen Hornhautschichten liegt bei p_H 4,1. Bei kleinerem p_H tritt eine Positivierung, bei größerem eine Negativierung der oberen Hornhautschichten auf, die die eigentlichen Grundpotentiale der Haut maskieren. Man nennt die p_H - Abhängigkeit der ableitbaren Potentiale "Konzentrationseffekte". Sie sind von inneren und äußeren Faktoren abhängig. Für die inneren Konzentrationseffekte ist die Konzentration aller dissoziierbaren Stoffe im Stratum corneum, wie zum Beispiel Aminosäurengehalt, Milchsäure, Na - Ca - K - Gehalt bedeutend, für die äußeren die Behandlung der Haut mit verschiedenen Chemikalien und dissoziierbaren Stoffen. Außerdem sind an Körperstellen, die zum emotionellen Schwitzen neigen, zum Beispiel an den Handflächen und Fußsohlen, sogenannte "Tonuspotentiale" ableitbar, die sich auf die Grundpotentiale aufpfropfen (48). (Vergleiche hierzu auch Abb. II Seite 12).

2. 2. 1. 2. Hautwiderstand

Bei Gleichstromdurchsetzung und Durchströmung mit Wechselstrom verschiedener Frequenz setzt die Haut dem Stromdurchgang nicht immer den gleichen Widerstand entgegen.

Bei Wechselstromdurchströmung der Haut tritt eine Phasenverschiebung von Strom und Spannung ein, die nur durch die Anwesenheit elektrischer Blindwiderstände (Spule, Kondensator) erkärt werden kann (70).

Der Hautwiderstand setzt sich tatsächlich aus einem rein ohmschen Wirkwiderstand und einem kapazitiven Blindwiderstand zusammen (31). Bei Wechselstrom von etwa 1000 Hz (48) wird der ohmsche Widerstand, bei Gleichstrom auch der schein-

bare Widerstand der Haut gemessen. Der scheinbare Widerstand ist sowohl von der Polarisationskapazität der biologischen Membranen, als auch von der angelegten Spannung abhängig (48).

Aus der Abbildung III auf Seite 14 kann ersehen werden, welche Auffassung (nach 52) derzeit über das Ersatzschaltbild ohmscher und kapazitiver Widerstände innerhalb der Haut besteht.

Modellvorstellungen über den elektrischen Hautwiderstand

(nach Krause, Storz und Voelkel)

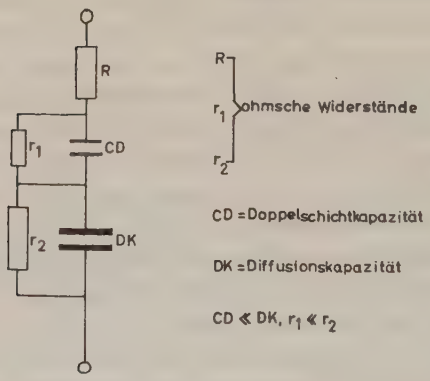


ABB III

Es hat sich eingebürgert, den Hautwiderstand nicht direkt zu messen, sondern den Stromdurchgang zu bestimmen und den hierzu proportionalen Leitwert als Maß des Hautwiderstandes zu nehmen; dies ist auch bei der Elektrodermatometrie der Fall (19). Hautwiderstand und Leitwert verhalten sich reziprok.

In der Abbildung III entspräche der unpolarisierbare, ohmsche Widerstand dem protoplasmatischen Widerstand, der Polarisationswiderstand kommt der Doppelschichtkapazität im Stratum conjunktum, und der Diffusionskapazität in den tieferen

Epidermislagen zu (31, 48).

2. 2. 2. Faktoren, die den Hautwiderstand beeinflußen

2. 2. 2. 1. Endogen:

2. 2. 2. 1. 1. Vegetatives Nervensystem
R e g e l s b e r g e r betrachtet die Veränderungen des Hautwiderstandes vornehmlich in Abhängigkeit vom vegetativen Nervensystem. Er erklärt niedrige Leitwerte mit einem Parasympathikotonus, hohe mit Sympathikotonus (39). Er konnte weiterhin feststellen, daß sich der Leitwert mit der

2. 2. 2. 1. 2. Perspiratio insensibilis
proportional ändert; den Schweißdrüsen selbst mißt er nur geringe Bedeutung bei (58).

F o r e l l (23) sieht keinen Zusammenhang zwischen Hochstand beziehungsweise Tiefstand des Leitwertes und dem Tonus des vegetativen Nervensystems. Er konnte nachweisen, daß sich bei intravenöser Pyridininjektion der Leitwert bei gleichbleibender Durchblutung, aber hoher Hauttemperatur und

2. 2. 2. 1. 3. Schweißbildung
enorm erhöht. Auch B ö r n g e n und H e r b i g e r (14) konnten an einem Patienten mit rechtsseitiger Hyperhydrosis auf der hyperhydrotischen Gesichtshälfte eine Erhöhung des Leitwertes beobachten, bei gleichzeitig tiefer Hauttemperatur. Da die Leitwertanhebung aber im Verhältnis zur Hyperhydrosis gering war, machten sie noch andere unbekannte Mechanismen dafür verantwortlich.

2. 2. 2. 1. 4. Der Hauttemperatur
wird in Bezug auf die Leitwertänderung sowohl von R e g e l s b e r g e r, als auch von F o r e l l und B ö r n g e n wenig Bedeutung zugemessen (23, 58).

Die Abhängigkeit des Leitwertes vom

2. 2. 2. 1. 5. Hydratationszustand der Haut
wurde von A i c h i n g e r (1) untersucht. Er konnte zeigen, daß nach Reizung der Haut mit Rubriment^{R} der Leitwert an der Stelle mit urtikarieller Reaktion enorm erhöht war, während eine Erythembildung so gut wie keinen Einfluß hatte. Auch

K r a u s e , S t o r z und V o e l k e l (52) zeigten, daß bei Ödemen der Leitwert erhöht ist. Sie brachten den Leitwert insofern mit den

2. 2. 2. 1. 6. Schweißdrüsen und der Durchblutung in Verbindung, als sie annahmen, daß in schweißdrüsenreichen Gebieten der Hydratationszustand der Haut a priori am größten ist und eine erhöhte Durchblutung auch eine vermehrte Durchfeuchtung der Haut bewirkt.

2. 2. 2. 1. 7. Rhythmik

Der Hautwiderstand hat eine 24 - Stundenrhythmik, die "Grundrhythmik", mit hohen Leitwerten tagsüber und geringen nachts (75). Auf diese Grundrhythmik pfropft sich eine "Kurzrhythmik mit drei oder vier Tagesmaxima des Leitwertes auf, die R e g e l s b e r g e r (59) als postdigestive Erhöhung interpretiert und Frühstücks - Mittags- Abendzacke und Wasser- oder Kaffeezacke bezeichnet. Auch bei Fehlen der Nahrungsaufnahme sind sie, wohl infolge der Pavlowschen Reflexe, vorhanden.

2. 2. 2. 1. 8. Krankheiten

Die Leitwertveränderungen werden in der klinischen Diagnostik verwendet. Sie hier näher auszuführen ist nicht der Platz. Als Beispiele sollen nur die Leitwertanstiege bei Ulcus ventriculi, Cholezystopathie, Appendizitis, Nephrolithiasis und die fehlende Rhythmik bei vegetativer Dystonie erwähnt werden (19).

2. 2. 2. 1. 9. Rassische Unterschiede

J o h n s o n (46) konnte zeigen, daß Neger bei gleicher Hauttemperatur und gleichbleibender Spontanrhythmik geringere Leitwerte als Weiße haben. Er führt diese Tatsache auf ein dickeres Stratum corneum und eine geringere Anzahl von ekkrinen Schweißdrüsen bei Negern zurück. H. E. K l e i n e - N a t r o p (zit. n. 51) vertritt dagegen die Ansicht, daß der Verhornungsgrad keinen Einfluß auf den Leitwert hat.

2. 2. 2. 2. Exogen:

2. 2. 2. 2. 1. Auf den Einfluß der Nahrungsaufnahme auf den Hautleitwert wurde bereits unter Rhythmik hingewiesen.

2. 2. 2. 2. 2. Lokale Reize

Nach E b b e c k e (zit. n. 51) bewirkt jeder mechanische Reiz eine Leitwertveränderung der gereizten Hautstelle, die er als lokale galvanische Hautreaktion bezeichnet.

2. 2. 2. 2. 3. Klimatische Reize·

Nach B e c k e r und R u t e n f r a n z (zit. n. 48) besteht eine statistisch gesicherte Korrelation zwischen Äquivalenztemperatur (= Lufttemperatur + 2 x mm Hg Luftfeuchte) und Basiswiderstand (= durchschnittlicher Tageswiderstand).

R o e s e r - B l e y (61) konnte bei Kurlängsschnittuntersuchungen feststellen, daß Kontinentalluft den Leitwert erhöht, Tropik - Maritimluft dagegen vermindert.

Auf dem 43. Italienischen Dermatologenkongress im Jahre 1959 (zit. n. 48) wurde berichtet, daß der Wind den Leitwert vermindert, elektrische Felder ihn erhöhen. Lufttemperaturen von 28 - 30 °C erhöhen den Leitwert schlagartig. Auch bei Gewittern hat man eine Erhöhung des Leitwertes beobachtet (55).

2. 3. Zur Hautturgormessung

2. 3. 1. Der Begriff Hautturgor wird hauptsächlich in der Pädiatrie gebraucht, um den Zustand der Haut des Kleinkindes zu beschreiben.

Untersuchungen über die Abhängigkeit des Hautturgors von klimatischen Faktoren sind aus der Literatur nicht bekannt.

Es sind jedoch verschiedene Untersuchungen über den Hautturgor bei Erwachsenen angestellt worden. Verwirrend wirkt, in welch vielfältiger Bedeutung der Begriff Turgor gebraucht wird. Deshalb soll hier am Anfang eine Übersicht über die bisher gebrauchten Definitionen stehen.

Von C z e r n y (zit. n. 44) wurde im Jahre 1902 der Begriff des Hautturgors erstmals gebraucht, wohl in der Absicht den Spannungszustand der Haut durch Anwendung eines physikalischen Begriffes zu objektivieren.

Andere Autoren (zit. n. 49) benutzten die Begriffe Elastizität und Plastizität, um den Zustand der menschlichen Haut zu beschreiben. Diese Begriffe werden in verschiedenen

Interpretationen und sogar manchmal synonym verwendet. So gebrauchen P a f f r a t h und R i e c k e den Begriff Turgor im Sinne von Elastizität (43) und bei P i r t k i e n (zit. n. 49) ist es anscheinend ebenso.

Diese Vermengung der Begriffe steht ganz im Gegensatz zu den anderen exakten Definitionen der physikalischen Eigenschaften der Haut, wie Zugfestigkeit, Dehnbarkeit, Reißfestigkeit und Retraktionskraft (40).

Eine brauchbare, aber von der Methodik her formulierte Definition des Hautturgors hat F e e r (44) gegeben: "Der Turgor ist eine Eigenschaft aller lebendigen Gewebe. Er wird beurteilt nach dem Widerstande, den diese Teile dem eindrükkenden Finger entgegensetzen und an der Schnelligkeit, mit der sich die zusammengepreßten Teile wieder ausdehnen."

J o c h i m s (45) kommt von einer Betrachtung der physikalischen Verhältnisse zu folgender Definition des Hautturgors: "Der Hautturgor ist ein Teil der Gewebsspannung und zwar derjenige Anteil, welcher durch die natürliche Gewebsdurchtränkung mit Blut und Lymphe entsteht."

Botanisch betrachtet ist der Turgor ein osmotisches Membranphänomen, das die Wandspannung der Pflanzenzelle reguliert.

Die Elastizität der Haut wird nach S t ü t t g e n (68) sowohl von der Textur der Epidermis, als auch von morphologischen und funktionellen Charakteristika des Coriums bestimmt. Da aber nach Jochims gerade der Hautturgor vom funktionellen Zustand des Coriums abhängig ist, ist in Stüttgens Definition die Elastizität der umfassendere Begriff und schließt den Hautturgor mit ein.

K e l l e r (49) betrachtet die Elastizität der Haut lediglich als Ausdruck der Gewebstextur. Als Textur wird hier das Spannungsverhalten der kollagenen und elastischen Fasern der Haut verstanden.

Im Gegensatz zu Stüttgen ist bei Keller der Hautturgor der umfassendere Begriff, den er in eine plastische und elastische Komponente teilt. Der elastische Anteil des Hautturgors ist bei ihm identisch mit Elastizität. Die Beurteilung des

Hautturgors und der Elastizität erfolgt aus dem Widerstand, den die Haut der lokalen Einwirkung einer Kraft entgegensetzt.

Jochims unterscheidet dabei einen elastischen von einem unelastischen Widerstand (43). Den Gesamtwiderstand, den die Haut dem Eindringen eines Fremdkörpers entgegensetzt, nennt er "Eigenhärte". Die elastische Komponente schreibt er den kollagenen und elastischen Fasern zu, die unelastische der inneren Reibung der Flüssigkeits- und Gewebeteilchen.

2. 3. 2. Die Gewebselastizität der Haut ist von verschiedenen Faktoren abhängig: Wichtig ist die Anzahl und die Beschaffenheit der kollagenen Fasern, sowie ihr Mengenverhältnis zueinander (45); die Elastizität ist an der Bauchhaut größer als an anderen Hautstellen (77), im Alter nimmt sie ab (41), bei Männern soll sie größer sein als bei Frauen (62), im Sommer ist die Haut weniger elastisch, dicke Haut ist unelastischer (49). Außerdem spielt die Vordehnung der Haut, die wiederum vom Ausmaß des Panniculus adiposus, vom Umfang der Muskulatur und anderen Faktoren (42) abhängig ist, eine Rolle. Je schlaffer die Haut den Körper umgibt, desto unelastischer ist sie.

Von J a n s e n (41) ist darauf hingewiesen worden, daß die Hautelastizität möglicherweise mit der Hormonproduktion, besonders der Sexualdrüsen verknüpft ist.

Der Hautturgor hängt von der Wasserbindung des Gewebes ab (48). Entscheidend ist dabei das an die Interzellularsubstanz gebundene Wasser. Freies Wasser zum Beispiel beim Ödem erhöht zwar die Plastizität, erniedrigt aber den Turgor (45). Das Wasserbindungsvermögen der Grundsubstanz des Interstitiums wird durch Veränderungen der Kolloidstruktur, der Viskosität und der osmotischen Kraft gesteuert. Nach neuerer Auffassung (49) kommen diese Veränderungen durch ein Wechselspiel zwischen Hyaluronsäure und Hyaluronidase zustande. Ebenso spielt der hydrostatische und osmotische Kapillar- und Gewebsdruck eine Rolle (43). Bei hohem hydrostatischen Druck und geringer osmotischer Kraft der Kapillarflüssigkeit wird eine Gewebsdurchfeuchtung erleichtert. Für den zellulä-

ren Turgor dürfte die intra- und extrazelluläre Ionenverteilung von Bedeutung sein (>5).

3. Problemstellung

Um die Wirkung des atmosphärischen Umweltmilieus auf biologische Systeme zu analysieren, wurde bislang methodisch auf zwei verschiedenen Wegen vorgegangen.

Der biometeorologische Arbeitskreis um Ungeheuer geht beispielsweise nach folgender Methode vor: Das natürliche Wettergeschehen wird in verschiedene Zustandsgruppen gegliedert und die Akkordwirkung der einzelnen Wetterphasen auf den Organismus untersucht.

Bei der zweiten Methode werden einfache klimatische Parameter, wie Temperatur, Feuchte, Luftbewegung in klimatisierten Räumen künstlich nachgefahren. Dadurch können Einzelelemente des atmosphärischen Umweltmilieus mehr betont und ihre Wirkung auf die zu untersuchenden Organfunktionen gesondert betrachtet werden. Dies ist der Weg, der auch bei unseren Versuchen beschritten wurde.

Leider haftet allen bisherigen Versuchen der Mangel an, daß die Versuchsdauer über einige Stunden nie hinausging und deshalb keine Aussage über das Verhalten einer biologischen Größe bei langperiodischen Änderungen eines klimatischen Parameters gemacht werden konnte.

Daraus ergibt sich das eigentliche Problem dieser Arbeit: Es sollen an drei Versuchspersonen das Verhalten der Hauttemperatur, der Hautwasserabgabe, des elektrischen Hautwiderstandes und des Hautturgors bei langperiodischen Schwankungen der Raumfeuchte und der Raumtemperatur untersucht werden, unter Beurteilung der Brauchbarkeit der von uns verwendeten Methoden.

4. Methodik

4. 1. Versuchsbedingungen

4. 1. 1. Raumbedingungen

In einem Klimaraum wurden 3 Versuchspersonen 19 Tage lang wechselnden Raumtemperaturen und Raumfeuchten ausgesetzt. Die Luftbewegung wurde mit einer erneuerten Luftmenge von 1000 m^3/h konstant gehalten. Die Windgeschwindigkeit betrug etwa 5 cm/sec. Sie lag damit im Bereich, der nach der Beaufortskala mit Windstille bezeichnet wird. Das Volumen der Versuchskammer betrug etwa 50 m^3. Elektromagnetische Strahlung wurde bis zum Dezimeterbereich abgeschirmt. Der Luftdruck entsprach dem atmosphärischen Luftdruck.

Die Werte der Raumtemperatur und der Raumfeuchte schwankten zwischen:

Minimalwerte:

Raumtemperatur	15,5 °C
Raumfeuchte	7,0 Torr

Maximalwerte:

Raumtemperatur	24,9 °C
Raumfeuchte	19,0 Torr

Diese Minimal - Maximal - Werte stellen allerdings die tatsächlichen Schwankungen nicht richtig dar, da sie nur kurzfristig durch zeitweise Entgleisungen der Regelsysteme der Klimakammer bedingt waren.

Eine richtigere Darstellung der Verhältnisse ergibt sich aus den Tagesmittelwerten (siehe auch Kurve 1a und b auf Seite 23 und 24).

Danach ergeben sich folgende Werte:

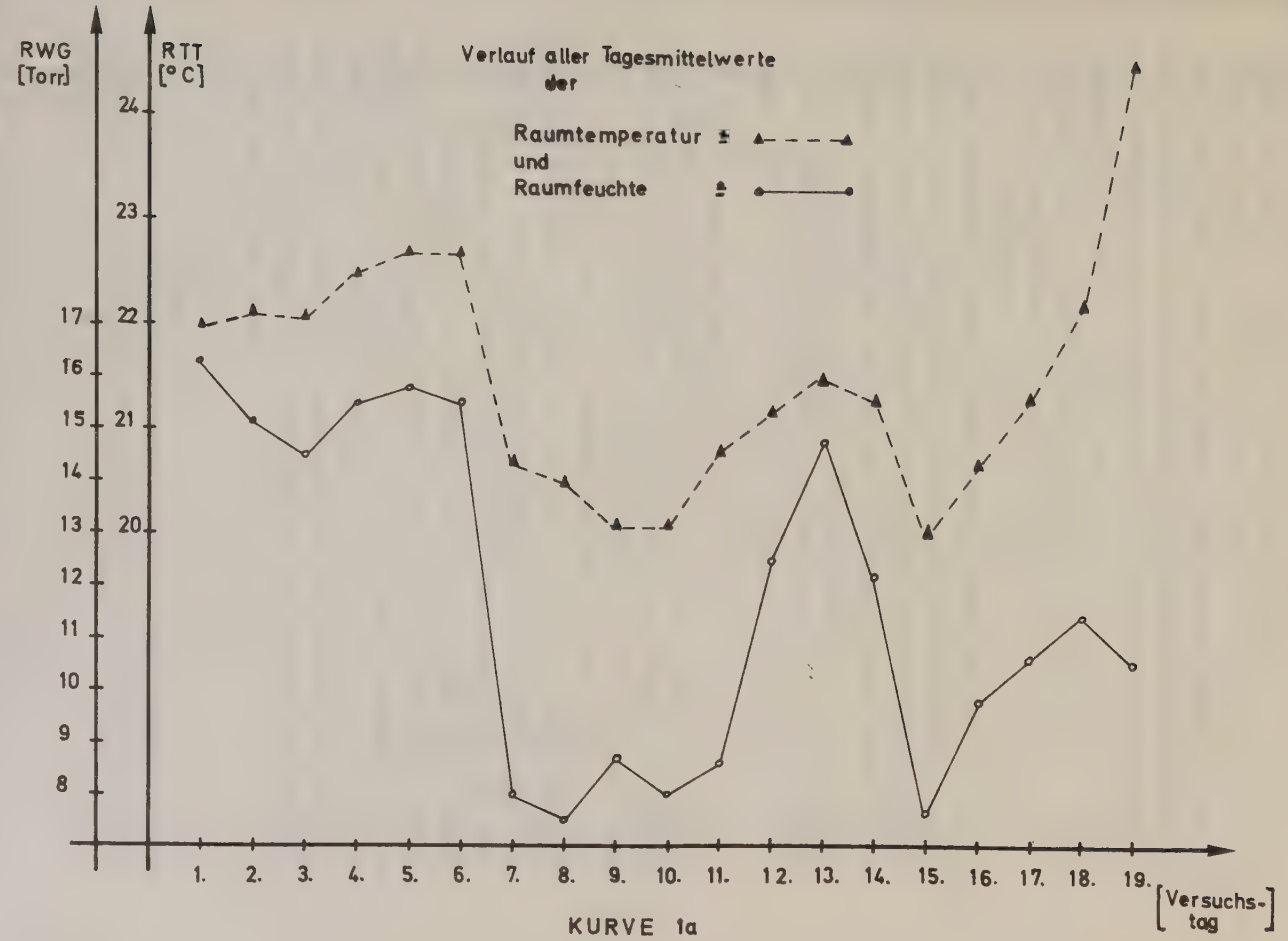
Minimalwerte:

Raumtemperatur	20,0 °C
Raumfeuchte	7,5 Torr

Maximalwerte:

Raumtemperatur	22,6 °C
Raumfeuchte	16,3 Torr

Die Schwankungen betrugen also über die Versuchsdauer bei der Raumtemperatur Δ T 2,6 °C, für die Raumfeuchte ΔTorr 8,8 Torr.


RWG [Torr]
RTT [°C]
Verlauf aller Tagesmittelwerte der
Raumtemperatur ±
und
Raumfeuchte ±
24
23
22
21
20
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19.
[Versuchs-tag]

KURVE 1a

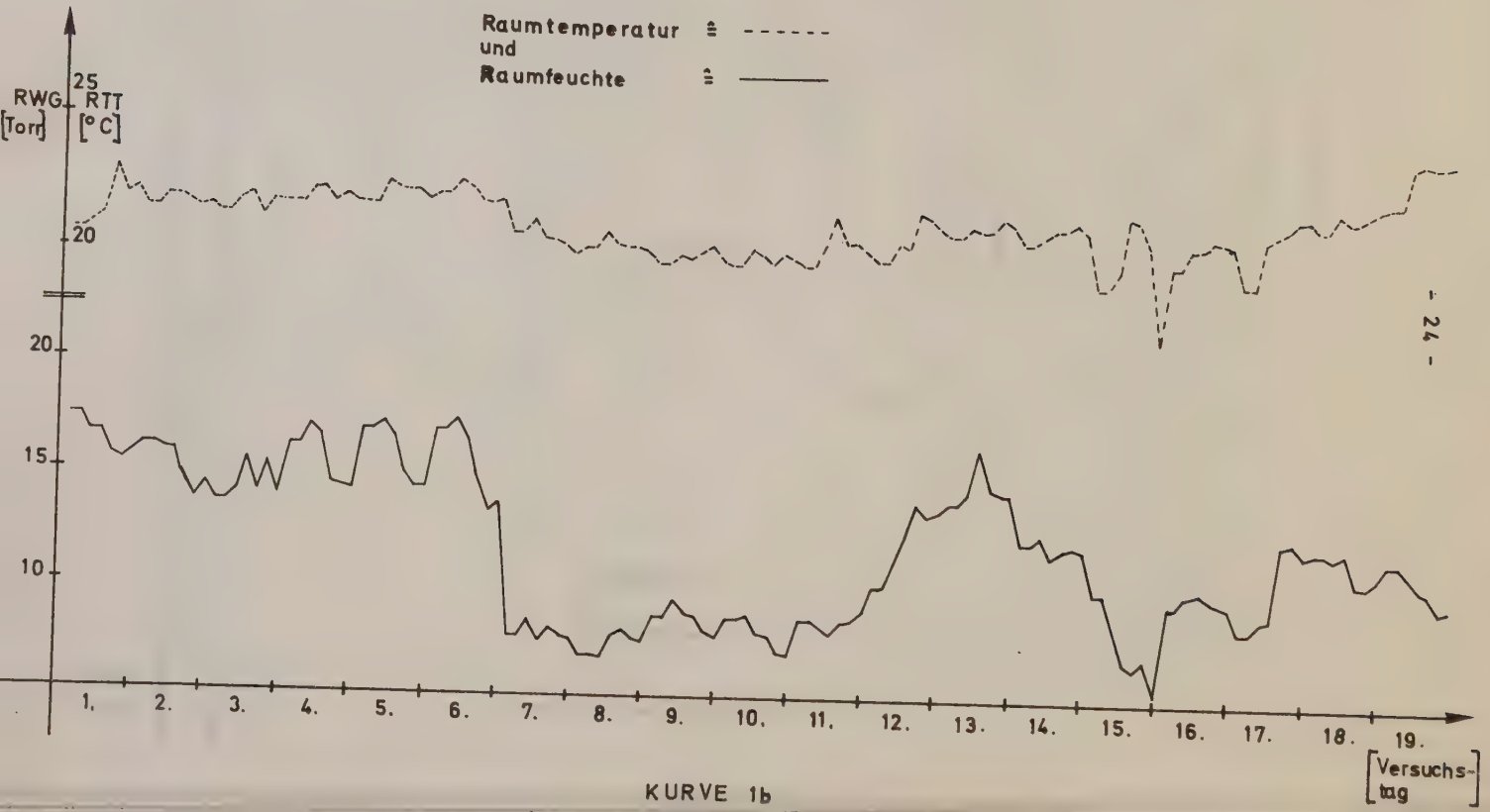
Verlauf aller Meßzeitenwerte (Tagesprofil)

der

Raumtemperatur ≙ ------

und

Raumfeuchte ≙ ———



KURVE 1b

Es bleibt allerdings festzustellen, daß diese Schwankungen nicht im Ablauf eines Tages auftraten, sondern sich auf die Unterschiede in den immer mehrere Tage dauernden "feuchten" und "trockenen" Phasen beziehen. Die eineinhalbtägige Ausschleusungsphase (Übergangsphase zu natürlichem Außenklima bei geöffneten Kammerschleusen) ist hierbei nicht berücksichtigt.

Die mittleren Tagesschwankungen betrugen für die

Raumtemperatur ΔT 1 °C

Raumfeuchte Δ Torr 1 Torr

Die Raumfeuchte und die Raumtemperaturen zeigen über die 19-tägige Versuchsdauer einen linearen Abwärtstrend. Bei der Raumtemperatur wird dieser Abwärtstrend durch die hohen Ausschleusungstemperaturen verdeckt und statistisch nicht signifikant, ist aber aus den Kurven zu ersehen.

Die Raumfeuchte sinkt dabei in 1 Tag etwa um 0,25 Torr. Die Raumtemperatur nimmt in 1 Tag ungefähr um 0,06 °C ab.

4. 1. 2. Versuchspersonen

Als Versuchspersonen stellten sich drei 25 - jährige Medizinstudenten zur Verfügung, die bei grob klinischer Betrachtung keine Krankheitszeichen aufwiesen. Die Versuchspersonen kannten sich schon vorher und waren gut befreundet.

Versuchsperson "1" war 180 cm groß, 75 kg schwer, muskulös und von kräftiger Statur, aber nicht dick, und sportlich trainiert. Ebenso sportlich trainiert war Versuchsperson "3". Sie war 175 cm groß, 72 kg schwer, aber nicht so muskulös gebaut. Versuchsperson "2" war sportlich weniger trainiert als Versuchsperson "1" und "3" und in der Körperstatur mehr leptosom. Versuchsperson "1" war nervös und sensibel, während die anderen Versuchspersonen ein ausgeglicheneres Verhalten zeigten, das bei Versuchsperson "2" wahrscheinlich am ehesten der inneren Haltung entsprach.

4. 1. 3. Meßzeiten

4. 1. 3. 1. Die Hautwasserabgabe und die Hauttemperatur wurden 6 mal am Tag gemessen und zwar von 9^{00} Uhr ab alle zwei Stunden.

4. 1. 3. 2. Der elektrische Hautwiderstand wurde an jedem Tag zweimal bestimmt und zwar vormittags um cirka 9^{30} Uhr und nachmittags um 15^{15} Uhr.

4. 1. 3. 3. Der Hautturgor wurde auch zweimal am Tag und zwar zu denselben Zeiten wie der Hautwiderstand gemessen.
Die Meßzeiten von 7^{00} - 9^{00} werden in der Statistik mit 1, die von 9^{00} - 11^{00} mit 2 und so fort bezeichnet.

4. 1. 4. Physiologische Bedingungen

4. 1. 4. 1. Arbeit
Die Arbeit, die vor jedem Versuch von den drei Versuchspersonen im Rahmen des ganzen Klimakammerversuchs geleistet wurde, war stets die gleiche und körperlich unerheblich.

4. 1. 4. 2. Kleidung
Die Versuchspersonen waren meist mit Hemd und kurzer Hose oder Trainingshose bekleidet.

4. 1. 4. 3. Vorbehandlung der Meßstellen
Die Meßstellen wurden im Rahmen der allgemeinen körperlichen Reinigung nur mit Wasser gereinigt, so daß eine Beeinflußung der Meßgrößen durch irgendwelche hautaktiven Stoffe (17) ausgeschlossen werden konnte.

4. 2. Bestimmung der Hautwasserabgabe und der Hauttemperatur

4. 2. 1. Meßapparatur (siehe auch Abbildung IV, Seite 27)

4. 2. 1. 1. Hautfeuchtemessung:
Infrarotabsorptionsschreiber der Firma Hartmann & Braun mit den beiden Küvetten = U_1
Meßküvette = K_1
Vergleichsküvette = K_2
Meßthermostat = Thermostat 1 = T_1
Vergleichsthermostat = Thermostat 2 = T_2
Meßkapsel = MK
Druckausgleichskapillaren 1 und 2 = D_1, D_2
Rotationsmischpumpen 1 und 2 = P_1, P_2
Schalter = S
PVC - Schlauchverbindungen dargestellt in der

SCHEMATISCHE VERSUCHSANORDNUNG ZUR BESTIMMUNG DER HAUTWASSERABGABE

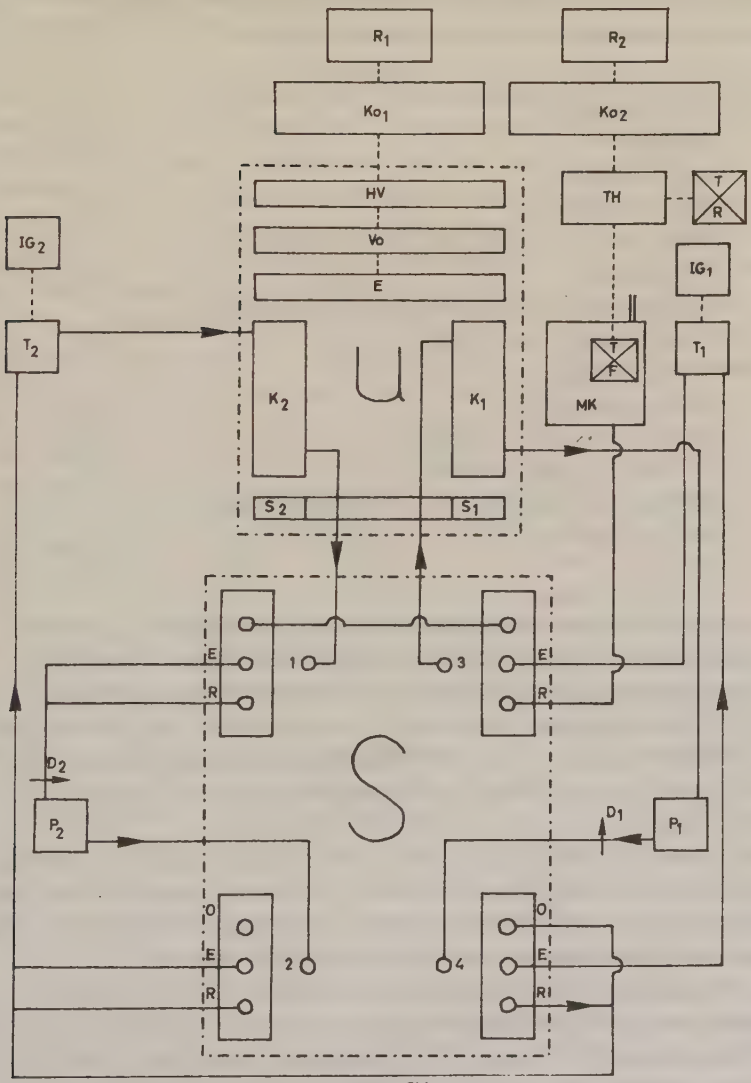


ABB IV

Zeichnung durch durchgehende Striche: Durchmesser 5 mm

4. 2. 1. 2. Hauttemperaturmessung

Hauttemperaturfühler, als Thermoelement Konstantan-Manganin untergebracht in der Meßkapsel = TF

4. 2. 1. 3. Verstärker- und Schreiberteil

Feuchtemessung:

- Empfänger = E
- Vorverstärker = V_o
- Hauptverstärker = HV
- Kompensationsverstärker Firma Gossen & Co Erlangen = K_{o1}
- Registriergerät Gleichstromlinienschreiber Firma Siemens und Halske AG = R_1

Hauttemperaturmessung:

- Thermogegenelement = TH
- Kompensationsverstärker 2 = K_{o2}
- 12 - Fach Linienschreiber = R_2
- Impulsgeber (Kontaktthermometer) 1 und 2 für Thermostate = IG_1, IG_2

4. 2. 2. Meßprinzip

Gemessen wurde die Hautwasserabgabe mit Hilfe eines Infrarotgasanalysators (URAS der Firma Hartmann und Braun AG). Das Meßprinzip ist ausführlich in einer früheren Arbeit aus dem balneologischen Institut (24) dargelegt. Auf den Aufbau der Meßanlage soll hier nur soweit eingegangen werden, als sie sich von der von Fricke aufgezeichneten Anlage unterscheidet.

Die Anlage (vergl. Abb. IV) besteht aus drei Kreisläufen: Zwei geschlossenen, dem Nullwert- und dem Eichkreislauf und einem offenen, dem Meßkreislauf. Dieser dient sowohl zur Messung der Raumfeuchte, als der Hautwasserabgabe.

Zur Aufrechterhaltung der Luftströmung im Schlauchsystem wurden zwei Rotationsmischpumpen verwendet, die die Luft diskontinuierlich mit hoher "Pulsfrequenz" bewegten. Jede der beiden Pumpen hatte eine definierte Förderleistung von 24 l/h. Deshalb erübrigten sich die bei (24) verwendeten Luftstrom-

messer. Im Vorversuch wurden zur Dämpfung dieser Luftschwingungen in das Schlauchsystem zwei Windkessel eingebaut. Diese konnten jedoch später weggelassen werden, da der URAS auf die frequenten Schwingungen der Pumpen ohnehin nicht reagierte.

Anstelle der gesättigten Lösungen von Natriumacetat und Natriumbromid, zur Erzeugung definierter Wasserdampfdrucke im Vergleichskreislauf, wurden zwei Kolben mit Aqua destillata verwendet. Dies war möglich, weil 2 Thermostaten zur Verfügung standen, mittels derer die Wasserdampfdrucke in den beiden Kolben in Grenzen beliebig variiert werden konnten. Zwei Kontaktthermometer sorgten für die Aufrechterhaltung der eingestellten Temperatur in den Thermostaten. Diese spielten insofern eine Rolle, als beim Einschalten der Heizer die Netzspannung kurzfristig so absank, daß dies auch durch den im URAS eingebauten Spannungskonstanthalter nicht ausgeglichen werden konnte. Dieser Effekt blieb auch nach Umlegen der Impulsgeber auf andere Phasen des elektrischen Netzes bestehen. Bei der Aufzeichnung der Meßergebnisse macht er sich durch charakteristische "spikes" bemerkbar, die etwa 0,4 % über dem Niveau des gemessenen Wertes lagen.

Auf einen Speichersack für Raumluft zur Aufrechterhaltung eines konstanten Wasserdampfdruckes wurde verzichtet. Maßgebend dafür war die Überlegung, daß durch die Regelanlage der Klimakammer für genügend konstante Raumbedingungen während einer Messung gesorgt war. Außerdem wurde der Ansaugstutzen für die Raumluft so an einer Stelle des Raumes angebracht, daß Temperatur- und Feuchteschwankungen, die durch vorübergehende Personen oder Flüssigkeitsbehälter bedingt sein konnten, nicht ins Gewicht fallen konnten.

Es wurde eine Meßkapsel mit eingebautem Hauttemperaturfühler verwendet. Der Auflagepunkt des Hauttemperaturfühlers war etwa stecknadelkopfgroß. Diese Fläche ist im Verhältnis zur gesamten Fläche der Meßkapsel (38 cm^2) vernachlässigbar klein und beeinträchtigt die Hautwasserabgabe nicht. Die Raumtemperatur wurde mit einem Temperaturfühler direkt am Ansaugestutzen für die Raumluft gemessen.

Zum Schließen und Öffnen der Kreisläufe diente ein Vielfachhahn mit 4 zuführenden Stutzen. Jedem dieser zuführenden Stutzen standen 4 abführende gegenüber, von denen jedoch nur 3 ausgenutzt wurden.

4. 2. 3. Eichung und Messung (siehe auch Abb. IV)

4. 2. 3. 1. Nullpunkt (Leerwertbestimmung): Schalterstellung "O"

Aus dem Erlenmeyerkolben im Thermostat 2 (T_2) wird die Luft durch die Pumpe 1 (P_1) in die Vergleichsküvette (K_2) und die Meßküvette (K_1) gepumpt. Da zwischen beiden Luftströmen keine Feuchtedifferenz besteht, muß der Ausschlag am URAS Null sein. Pumpe 2 (P_2) läuft leer.

4. 2. 3. 2. Eichpunkt (Eichwertbestimmung): Schalterstellung "E"

In jedem Thermostaten befindet sich ein Erlenmeyerkolben mit Aqua Dest. Diese werden vermittels T_1 und T_2 auf verschiedenen, frei variierbaren Temperaturen gehalten. In jedem Kolben stellt sich ein der Temperatur entsprechender Sättigungsdampfdruck ein. Die Differenz dieser Dampfdrucke wird gemessen. Die beiden Gase ziehen jetzt in geschlossenen Kreisläufen durch Küvette 1 oder Küvette 2.

4. 2. 3. 3. Raumfeuchte: Schalterstellung "R"

Über die Vergleichsküvette K_2 strömt nun aus T_2 ein Vergleichsgas mit einem vorher zu wählenden Wasserdampfgehalt. Durch die Meßküvette K_1 strömt Raumluft. Der Feuchtegehalt der Raumluft errechnet sich nun als Verhältnis aus den gemessenen Werten in einer weiter unten angegebenen Weise.

4. 2. 3. 4. Messung der Hautwasserabgabe: Schalterstellung "R"

Die Meßkapsel wird nunmehr auf die Haut gebracht. Raumluft streicht über die zu messende Hautstelle und verändert dabei ihren Wassergehalt. Die Luft aus der Meßkapsel wird nun durch die Meßküvette K_1 geleitet. Über die Vergleichsküvette K_2 strömt dasselbe Gas wie bei 4. 2. 3. 1. - 4. 2. 3. 3. Aus dieser Änderung der Feuchte läßt sich, wie weiter unten näher ausgeführt wird, die Hautwasserabgabe errechnen.

4. 2. 3. 5. Auswertung der Versuchsergebnisse

Abgelesen werden die Meßergebnisse sowohl am Anzeigegerät des URAS (Einheit Skalenteile = SKT) und am Dreifachlinienschreiber (Einheit mm = mm). Berechnet wurden die Ergebnisse in beiden Einheiten, verwertet wurden nur die aus den direkten Urasanzeigen ermittelten Werte. Die am Linienschreiber aufgezeichneten Kurven wurden hauptsächlich zur Verlaufs- und Zeitkontrolle herangezogen.

4. 2. 3. 5. 1. Dampfdruckverschiebung:

Da der Dampfdruck des Innenraumes der Klimakammer mehrfach nach oben und unten verändert werden sollte, mußten auch die Dampfdrucke der Vergleichs- und Eichgase variabel sein. Dies war mit Hilfe der beiden unabhängig arbeitenden Thermostaten T_1 und T_2 möglich. Die nachfolgenden Parameter wurden dabei in folgenden Bereichen geändert:

Temperaturen in T_1	13,5o - 17,9o °C
Dampfdruck e_1	11,6o - 15,38 Torr
Umrechnungskonstante k_1	1,oo8 - o,993 g/m³Torr
Absolute Feuchte a_1	11,92 - 15,27 g/m³
Temperaturen in T_2	16,8o - 2o,8o °C
Dampfdruck e_2	14,32 - 18,54 Torr
Umrechnungskonstante k_2	o,996 - o,99o g/m³Torr
Absolute Feuchte a_2	14,26 - 18,35 g/m³
Dampfdruckdifferenz Δe	2,o2 - 3,7o g/m³

4. 2. 3. 5. 2. Nullpunktverschiebung:

Da einerseits die zu messenden Dampfdrucke des Versuchsraumes erwartungsgemäß beträchtlich unter dem des Vergleichsgases lagen, andererseits aber am Anzeigegerät des URAS eine negative Ablesung nicht möglich war, wurde der Nullpunkt in diesen Fällen weit in den positiven Bereich hinein verschoben. Dies geschah mittels einer dafür vorgesehenen Stellschraube (Blendenverstellung) am URAS selbst. Die vorher durchgeführte Leerwert- und Eichwertbestimmung wurde davon nicht betroffen. Im Folgenden wird die vor der Nullpunktverschiebung durchgeführte Bestimmung des Nullpunktes mit OW_1, die des Eichwertes mit EW und die nach der Nullpunktverschiebung

durchgeführte Festlegung des Nullpunktes mit OW_2 bezeichnet. Wurde keine Nullpunktverschiebung durchgeführt, so kann OW_1 als identisch mit OW_2 betrachtet werden.

4. 2. 3. 5. 3. Bestimmung der Empfindlichkeit der Meßapparatur
Diese berechnet sich aus der Dampfdruckdifferenz Δe des Eich- und Vergleichsgases und der Differenz der für das Eichgas und das Vergleichsgas ermittelten Werte nach der Formel:

$$E = \frac{\Delta e}{EW - OW_1} \left[\frac{\text{Torr}}{\text{mm (SKT)}}\right]$$

4. 2. 3. 5. 4. Berechnung der Raumfeuchte R:

RW = Raumwert: Ausschlag des Meßinstrumentes bei Raumfeuchte Einheit mm (SKT)

$R = RW - OW_2 \ (OW_1)$

k_{RT} = temperaturabhängige Umrechnungskonstante (g/m^3 Torr)

$a_3 = R \times E \times k_{RT} \ (g/m^3)$
= absolute Feuchtedifferenz zwischen Raumluft und Vergleichsluft

$RF = a_3 + a_1$ = absolute Raumfeuchte (g/m^3)

4. 2. 3. 5. 5. Berechnung der Hautwasserabgabe DD:

MW = Meßwert

$DD = (MW - RW) \times E$ (Torr) = Dampfdruckdifferenz vor und hinter der Meßkammer

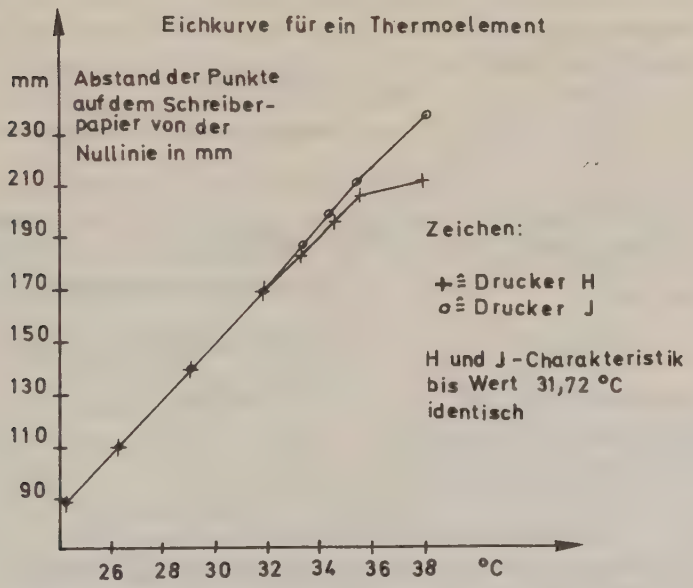
$a_4 = DD \times k_{RT} \ (g/m^3)$ = absolute Feuchtedifferenz vor und hinter der Meßkammer

$$a_5 = \frac{a_4 \times 24}{38 \times 60} \ (g/\text{min cm}^2)$$ = absolute Hautwasserabgabe pro Minute und pro cm^2 Hautoberfläche

24 l = Pumpenleistung
38 cm^2 = Fläche der Meßkapsel

4. 2. 3. 5. 6. Messung der Hauttemperatur und der Raumtemperatur

Die Raumtemperatur und die Hauttemperatur wurden mit Konstantan-Manganin-Thermoelementen gemessen, die nach Vergleich mit einem Thermogegenelement und Verstärkung auf einem Zwölffachpunktschreiber aufgezeichnet wurden. Geeicht wurde ein Temperaturfühler in einem Dewargefäß bei verschiedenen Temperaturen in normalem Leitungswasser. (Siehe Eichkurve, Kurve 2)



KURVE 2

4. 3. Messung des elektrischen Hautwiderstandes (Elektrodermatometrie)

4. 3. 1. Meßapparatur

Die Messungen wurden mit dem Elektrodermatometer nach R e g e l s b e r g e r durchgeführt. Das Gerät (siehe Abb.V) besteht aus einer Gleichstromquelle (Taschenlampenbatterie 4V), einem Begrenzungswiderstand, einem Potentiometer, 2 Umschaltern und einem empfindlichen Galvanometer. Außerdem werden zwei

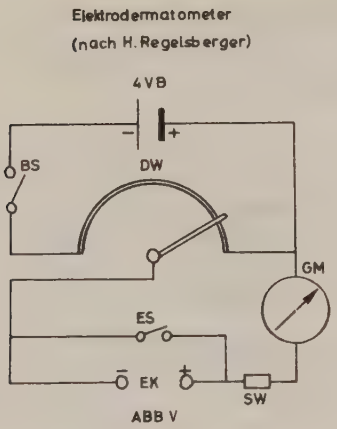


ABB V

4VB = 4-Volt Batterie

BS = Batterieschalter

ES = Eichschalter

DW = Potentiometer

GM = Galvanometer (10 µA Vollausschlag)

SW = Schutzwiderstand (300 kΩ)

EK = Elektrodenklemmen

mit Mull überzogene, vergoldete Messingelektroden verwendet, die in zwei Isolierbuchsen durch Druckfedern geführt werden. Vor der Messung wird der Mull mit physiologischer Kochsalzlösung befeuchtet (26).

4. 3. 2. Meßvorgang und Meßprinzip

Schickt man einen Gleichstrom durch die Haut, so erleidet er eine Schwächung, da eine Polarisationsspannung auftritt. Sie rührt her von einer Jonenverschiebung, die ein der angelegten

Spannung entgegengesetztes Potentialgefälle erzeugt (51). Gemessen wird beim Elektrodermatometer der Gleichstromdurchgang durch die Haut (Leitwert) in Mikro-Ampere.

Vor der eigentlichen Hautwiderstandsmessung wird eine Vormessung durchgeführt. Dabei wird mittels des Spannungsteilers eine Spannung von 2V abgegriffen, was dann der Fall ist, wenn sich der Zeiger des Galvanometers mit der roten Eichmarke deckt (26). Anschließend werden unter konstantem, leichtem Druck die beiden Elektroden auf die zu messende Hautstelle gebracht. Nach einem initialen, großen Zeigerausschlag wurde der sich daraufhin einstellende "Knickwert" abgelesen. Der Elektrodenabstand wurde bei allen Messungen mittels einer Drahtklammer auf Handbreite konstant gehalten. Die Elektroden wurden zur Vermeidung von Kriechströmen durch die Untersucherhand nur mit Gummihandschuhen angefaßt.

4. 3. 3. Meßstelle

Gemessen wurde im Bereich des ersten Trigeminusastes, des Segmentes D 1o in Nabelhöhe und der rechten Oberschenkelinnenseite im Segment L 3.

4. 4. Messung des Hautturgors

4. 4. 1. Meßapparatur

Es wurde eine von K. Dirnagl entwickelte Apparatur verwendet. Sie besteht aus drei gegeneinander beweglichen Teilen:

a) ein äußeres Führungsrohr = F
b) ein hohlzylindrischer Auflagestempel = AS
c) ein runder Druckstempel = DS

(vergleiche hierzu Abb. V1, Seite 36)

Der zylindrische Auflagestempel ist hohl und bewegt sich innerhalb des äußeren Führungsrohres, das er nach oben und unten überragt. Eine Spiralfeder (F_2) drückt den Auflagestempel innerhalb des Führungsrohres nach unten. Außerdem zeigt der Auflagestempel unten eine ringförmige Begrenzungsmarke (M). Innerhalb des hohlen Auflagestempels befindet sich der zylindrische Druckstempel (DD). Dieser ist wiederum in der Zylinderachse beweglich gegen den Auflagestempel. Auch der Druckstempel

wird mittels einer Spiralfeder (F_1) nach unten gedrückt.
Auf dem äußeren Führungsrohr befindet sich eine Blattfeder (BF),

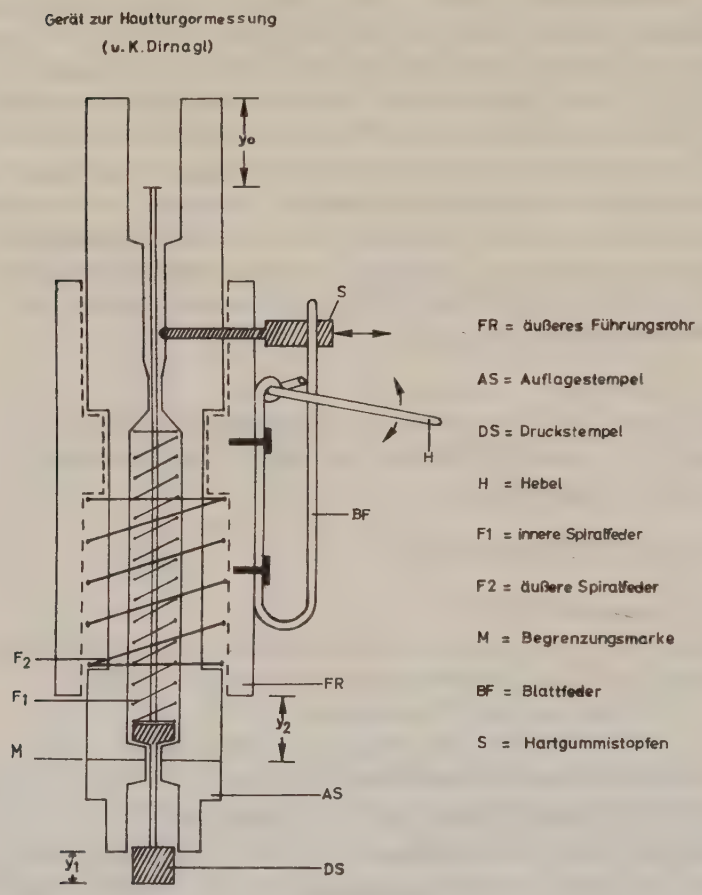


ABB VI

die nach Umlegen eines kleinen Hebels (H) einen Hartgummistopfen (S) so auf den Druckstempel (DS) drückt, daß dieser nicht mehr gegen den Auflagestempel (AS) verschieblich ist.

4. 4. 2. Meßvorgang und Meßprinzip

Die Meßapparatur wird mit der Hand auf die zu prüfende Hautstelle senkrecht aufgesetzt. Das äußere Führungsrohr (F) wird nun soweit nach unten gedrückt, bis dessen unterer Rand sich mit der ringförmigen Begrenzungsmarke (M) auf dem Auflagestempel (AS) deckt. Jetzt drückt der Auflagestempel mit der Kraft K_2 (D_2 x y_2) auf die Haut. Die Auflagefläche ist ringförmig.

Auf die innerhalb der ringförmigen Auflagefläche freibleibende runde Hautstelle drückt nach Freigabe der Arretierung (Hartgummistopfen S) der Druckstempel (DS) mit der Kraft K_1 (D_1 x y_1). Dieser Kraft K_1 setzt nun die Haut infolge ihres "Turgors" eine Gegenkraft K_{HT} entgegen, die den Druckstempel, je nach Art des Turgors, mehr oder weniger weit in den Auflagestempel hineindrückt. Nun wird der Hebel (H) umgelegt und so der Auflage- und Druckstempel gegeneinander fixiert. Die Strecke y_o, um die der Druckstempel in den Auflagestempel hineingedrückt wird, wird vermittels einer Fühllehre in einhundertstel Millimeter am oberen Rand des Druckstempels gemessen.

Hohe Werte von y_o sprechen für einen geringen Hautturgor, niedrige Werte für einen hohen.

4. 4. 3. Meßstelle

4. 4. 3. 1. Gemessen wurde an der linken Hand und zwar in der Mitte der Verbindungslinien des Processus styloides ulnae et radii. Die Hand lag dabei auf der Brust der liegenden Versuchsperson.

4. 4. 3. 2. Die zweite Meßstelle lag an der Bauchhaut rechts in der Mitte zwischen Nabel und unterster Begrenzung des Rippenbogens.

4. 5. Kurzer Hinweis auf die Methodik der Auswertung

Die Ergebnisse wurden unter anderem mit Hilfe des Computerprogramms BMDX 69 (Varianz/Kovarianzanalyse) ausgewertet.

Als Variable treten die Raumtemperatur und die Raumfeuchte auf, als Kovariable die Meßgrößen Hauttemperatur, Hautwasserabgabe, elektrischer Hautwiderstand, mechanischer Hautturgor. Die Einflußgrößen (Haupteffekte) werden im vollhierarchischen System

1) von der Stufe P (Mittel der 3 Personen)

2) von der Stufe $VP_{1, 2, 3,}$ (Einzelwerte von Person 1,2,3)

aus betrachtet.

Diese hierarchische Anordnung wird dadurch gekennzeichnet, daß die nachgeordneten Effekte in Klammern die Kurzbezeichnungen der übergeordneten Effekte beigeordnet erhalten.

Im vollhierarchischen System auf der Stufe P kommen folgende Symbole zur Anwendung:

Komponente P
" T(P) Tagesmittel
" M(TP) Meßzeiten innerhalb der Tage

Im vollhierarchischen System auf der Stufe $VP_{1, 2, 3,}$ gelten folgende Symbole:

Komponente T Tagesmittel
" M(T) Meßzeiten innerhalb der Tage

Mit Komponente T wird das Verhalten einer Meßgröße während der 19 - tägigen Versuchsdauer verfolgt; Komponente M charakterisiert das Verhalten einer Meßgröße im Tagesablauf.

4. 5. 1. Varianzanalyse (Kreuzprodukte)

Betrachtet werden die Summen der Abstandsquadrate für alle Komponenten und ihre Beziehungen zueinander.

Dabei bedeutet:

P<T(P): Die Versuchspersonen bewegen sich bezüglich der Meßgröße auf ähnlichem Niveau und reagieren gleichsinnig.

T(P)>M(TP); T>M(T): Es ist ein Tagesgang erkennbar.

Bei Umkehrung der Größer - Kleiner - Zeichen sind umgekehrte Schlußfolgerungen zulässig.

4. 5. 2. Korrelationsanalyse (Korrelationsmatrix)

Der Korrelationskoeffizient r gibt an, in welchem Ausmaß eine

lineare Beziehung zwischen zwei Meßgrößen erkennbar ist. r wird als signifikant angesehen, wenn die Wahrscheinlichkeit 2α für ein zufälliges Auftreten des beobachteten Wertes den Wert 0,1 unterschreitet.

Berechnung der Freiheitsgrade für:

a) Komponente P: P - 2
" T(P): P x (T - 1) - 2
" M(TP): P x T x (M - 1) - 2

b) Komponente T: T - 2
" M(T): T x (M - 1) - 2

Unter Berücksichtigung der Freiheitsgrade und der Signifikanzschranken läßt sich der Korrelationskoeffizient $r_{2\alpha}$ aus Documenta Geigy (Wissenschaftliche Tabellen 6. Auflage 1960 S. 61) entnehmen.

4. 5. 3. Trendbereinigung

Eine Meßgröße zeigt dann einen linearen Trend, wenn sie mit der Tagesziffer korreliert. Um eine zufällige Korrelation zweier Meßgrößen aufgrund gemeinsamer Trendbeziehungen auszuschließen, wird eine Trendbereinigung nach folgender Formel durchgeführt:

$$r'_{a\,b\,Tage} = \frac{r_{a\,b} - r_{Tage\,a} \times r_{Tage\,b}}{\sqrt{1 - (r_{Tage\,a} \times r_{Tage\,b})^2}}$$

4. 5. 4. Tagesziffer in der Kreuzproduktmatrix

Die mit der Tagesziffer gebildeten Kreuzprodukte geben an, welcher Anteil der Varianz einer Meßgröße durch tagesspezifische Schwankungen bedingt ist. Das Ergebnis kann in einem Quotienten ausgedrückt werden (z. B. Varianz der Tagesziffer/ Varianz der Meßgröße) oder in Prozenten.

4. 5. 5. Kurvendiskussion

Die Kurven werden nach Periodenschwankungen, Tagesschwankungen, Lage der Maxima und Minima, Personenunterschieden, Abhängigkeiten von der Raumtemperatur und Raumfeuchte, Trendverläufen und Phasenverschiebungen analysiert.

Die Ergebnisse der Kurvendiskussion werden mit den Ergebnissen der Varianzanalyse und Korrelationsanalyse verglichen.

4. 5. 6. Erklärung der Zeichen und Definitionen

Im Folgenden werden folgende Zeichen verwendet:

RTT = Raumtemperatur
RWG = Raumfeuchte, Raumwassergehalt
HTT = Hauttemperatur
HWA = Hautwasserabgabe
EDB = Leitwert am Bauch
EDO = Leitwert am Oberschenkel
EDS = Leitwert an der Stirn
TUH = Verformbarkeit der Haut am Handwurzelrücken } als Maß des
TUB = Verformbarkeit der Haut am Bauch } Hautturgors

"Verformbarkeit" bedeutet hier nichts anderes als den Kehrwert des Hautturgors (Begründung siehe Seite 89); große Verformbarkeit heißt also kleiner Hautturgor und umgekehrt.

Unter"Periode" wird im Folgenden die Dauer des vollen, zeitlich 19-tägigen Versuchsablaufs verstanden. Der"Periodengang" oder die "Periodenschwankung" sei deshalb als der kontinuierliche Verlauf einer Meßgröße in diesem Zeitraum verstanden.

Von "Tagesgang" oder"Tagesschwankungen" wird dann gesprochen, wenn das Verhalten einer Meßgröße im Tagesablauf betrachtet wird, sofern am Tag mehr als eine Messung durchgeführt wurde.

Die Korrelationsbeziehungen wurden schematisiert durch die Zeichen /O/+/-/ ausgedrückt

O = keine Korrelation
\+ = positive Korrelation
\- = negative Korrelation

Um innerhalb der möglichen Korrelationsbeziehungen noch weiter unterteilen zu können, wurde folgende willkürliche Einteilung (sie wird hier für den Zahlenbereich Null - plus Eins, also den Bereich möglicher positiver Korrelationen erklärt) getroffen:

Der für den Vertrauensbereich $2\alpha = 0{,}1$ aus den Tabellen Documenta Geigy entnommene Korrelationskoeffizient $r_{0,1}$ liegt zwischen der Zahl Null und plus Eins und teilt diesen Bereich in zwei Intervalle; diese wurden nun ihrerseits je in 3 gleiche Teile geteilt. Insgesamt standen also 6 Intervalle zur Verfügung.

Diese 6 Intervalle wurden nun mit dem der Zahl Null am nächsten liegenden angefangen fortlaufend bis zu dem der Zahl Eins am nächsten liegenden mit folgenden Symbolen ausgezeichnet:

0 / 0((+)) / 0 (+) / + / ++ / +++ /

Durch die dem Symbol "0" in Klammern beigefügten Pluszeichen soll ausgedrückt werden, inwieweit ein errechneter Korrelationskoeffizient dem Bereich positiver Korrelationsbeziehungen naheliegt. Wenn im Bereich positiver Korrelationsbeziehungen mehrere "+"-zeichen angewendet werden, soll damit ausgedrückt werden, daß die Wahrscheinlichkeit für das n i c h t z u f ä l l i g e Auftreten einer positiven Korrelation zweier Meßgrößen immer größer wird.

4. 5. 7. Erklärung zu den Zeichen der Computerkurven

Auf jedem Kurvenblatt ist am rechten, oberen Rand die Meßgröße, deren Kurvenverlauf dargestellt ist, abgekürzt angegeben. (Bedeutung der Abkürzung siehe Seite 40)

Der Kurvenverlauf der Meßgröße einer Person wird durch eine gestrichelte, das Gesamtmittel aller drei Versuchspersonen durch eine durchgehende Linie dargestellt. Dabei kommen den einzelnen Versuchspersonen folgende Zeichen zu:

■- - - -■ = Versuchsperson 1

o- - - -o = Versuchsperson 2

▲- - - -▲ = Versuchsperson 3

Die zu den Kurvenabszissen senkrechten Spalten geben den Versuchstag an. Die Nummer des Versuchstages ist durch die Zahlen an der Abszisse angegeben.

Im oberen Teil jeden Kurvenblattes werden noch zusätzlich der Verlauf der Raumtemperatur und der Raumfeuchte aufgezeichnet. Die am linken Kurvenrand angegebenen Zahlen 10 / 15/ 20 bezeichnen die Raumtemperatur in Grad Celsius und die Raumfeuchte in Torr.

5. Ergebnisse

5. 1. Zur Hautwasserabgabe und Hauttemperatur

5. 1. 1. Korrelationsbeziehungen im Periodenverhalten

5. 1. 1. 1. Die Hauttemperaturen verhalten sich bei allen Versuchspersonen über die ganze Versuchsdauer ähnlich wie die Raumtemperatur.

5. 1. 1. 2. Die Hautwasserabgabe der Versuchsperson "3" verhält sich über die Versuchsperiode gegenläufig zur Raumfeuchte.

Diese aus den Kurven zu erhebenden Befunde sind statistisch in Komponente T (P) und Komponente T durch signifikante Korrelationen gesichert.

5. 1. 1. 3. Die Kurve der Hautwasserabgabe zeigt für Versuchsperson "2" nicht exakt an allen Tagen gegenläufige Tendenz zur Raumfeuchte; die Hautwasserabgabe der Versuchsperson "1" ist mit dem Gang der Raumfeuchte überhaupt nicht in eine direkte Abhängigkeit zu bringen.

Auch statistisch zeigen sich für die Versuchsperson "2" nur angedeutete Korrelationen zwischen der Raumfeuchte und der Hautwasserabgabe in Komponente T, für die Versuchsperson "1" überhaupt keine.

5. 1. 1. 4. Die Gesamtstatistik aller Versuchspersonen zeigt dennoch in Komponente T (P) eine signifikant negative Korrelation zwischen der Raumfeuchte und der Hautwasserabgabe, sowie eine signifikant positive Korrelation zwischen der Raumtemperatur und der Raumfeuchte und der Hauttemperatur.

Statistisch lassen sich noch weitere Befunde erheben, die aus den Kurven nicht sofort zu ersehen sind:

5. 1. 1. 5. Die Hauttemperatur zeigt eine angedeutet positive Korrelation mit der Raumfeuchte für Komponente T (P).

Für Versuchsperson "1" ist diese Beziehung nach Komponente T überhaupt nicht mehr statistisch erkennbar, obwohl der Kurvenverlauf das Gegenteil zu beweisen scheint.

5. 1. 1. 6. Die Hautwasserabgabe steht nach Komponente T (P) mit der Raumtemperatur in einer erkennbaren, positiven Korrelation. Nach Komponente T kommt für Versuchsperson "3" diese Beziehung überhaupt nicht zum Ausdruck.

5. 1. 1. 7. Die Hauttemperatur und die Hautwasserabgabe stehen ebenfalls in einer schwach positiven Korrelation, die allein für die Versuchsperson "1" nach Komponente T signifikant wird.

5. 1. 2. Korrelationsbeziehungen im Tagesverhalten

5. 1. 2. 1. Die Hautwasserabgabe verhält sich bei allen Versuchspersonen reziprok zum Raumwassergehalt.

5. 1. 2. 2. Die Hauttemperatur der Versuchspersonen verhält sich im Tagesgang ebenso wie im Periodengang gleichsinnig zur Raumtemperatur.

Diese aus den Kurven zu erhebenden Befunde werden in der Korrelationsmatrix für die Komponenten T (P) und Komponente T durch signifikante Korrelationen statistisch gesichert.

5. 1. 2. 3. Am Vormittag liegen die Werte der Hauttemperatur und der Hautwasserabgabe niedriger als am Nachmittag, ausgenommen an den Tagen mit starkem Feuchterückgang.

Aus diesem Verhalten ergibt sich statistisch für Komponente M (TP) eine signifikante, positive Korrelation zwischen der Hauttemperatur und der Hautwasserabgabe, die jedoch in Komponente M (T) bei Versuchsperson "1" nicht vorhanden, bei Versuchsperson "2" nur angedeutet ist.

Lediglich an den Tagen, an denen die Raumfeuchte stark abfällt, wie am siebten und am vierzehnten Versuchstag verschieben sich die tagesrhythmischen Maxima und Minima der Hautwasserabgabe. Die Maximalwerte liegen zwei Tage lang am Vormittag, während sie an den übrigen Versuchstagen am Nachmittag liegen; die Minimalwerte liegen dagegen an den den Feuchtestürzen folgenden zwei Tagen am Nachmittag. Am dritten Tag nach dem Feuchteabfall haben sich die Ausgangsverhältnisse wieder hergestellt.

Bei den Tagen mit Feuchteanstieg sind keine Verschiebungen

der Maxima und Minima zu beobachten. Auch die Hauttemperatur zeigt keine Verschiebungen der Maxima und Minima.

5. 1. 2. 4. Auch die Raumtemperatur und die Hautwasserabgabe zeigen einen annähernd gleichen Tagesverlauf. Ebenso wie in Absatz 5. 1. 2. 3. ausgeführt ist, ergibt sich auch hier für Komponente M (TP) eine signifikante, positive Korrelation zwischen der Raumtemperatur und der Hautwasserabgabe, die jedoch in Komponente M (T) für die Versuchsperson "1" nicht vorhanden und für Versuchsperson "2" nur angedeutet ist, während sie erst für Versuchsperson "3" signifikant wird.

5. 1. 2. 5. Die Hauttemperatur korreliert im Tagesverlauf mit der Raumfeuchte für Versuchsperson "1" statistisch signifikant negativ. Für Versuchsperson "2" und "3" ist diese Korrelation statistisch nur angedeutet.

5. 1. 3. Trendbeziehungen

5. 1. 3. 1. Die Hauttemperatur zeigt einen linearen Abwärtstrend von etwa 0,05 °C pro einem Tag bei allen Versuchspersonen, der auch statistisch gesichert ist.

5. 1. 3. 2. Die Hautwasserabgabe zeigt einen linearen Aufwärtstrend von ungefähr 0,25 Mikrogramm/cm^2min pro einem Tag. Dieses Trendverhalten ist für die Versuchsperson "1", wie aus Komponente T hervorgeht, allerdings nicht signifikant.

5. 1. 4. Varianzanalyse (Mittelwerte, Individuelle Streuungen, Periodengang, Tagesgang)

5. 1. 4. 1. Die Hauttemperaturen liegen bei allen Versuchspersonen auf etwa gleichem Niveau von 29,7 bis 30,4 °C.

5. 1. 4. 2. Die Hautwasserabgabe streut individuell erheblich. So liegen die Durchschnitte der Hautwasserabgabe für Versuchsperson "1" bei 15,3 Mikrogramm/cm^2min, die für Versuchsperson "2" und "3" bei etwa 22,7 Mikrogramm/cm^2min.

5. 1. 4. 3. Die Versuchsperson "1" mit der geringsten Hautwasserabgabe hat auch die geringste Hauttemperatur mit einem Mittelwert von 30,2 °C, die Versuchsperson "2" mit der

größten Hautwasserabgabe hat auch die höchsten Hauttemperaturen mit einem Mittelwert von 31,1 °C!

5. 1. 4. 4. Die langfristigen Schwankungen der Hauttemperatur sind ausgeprägter als die Tagesschwankungen.

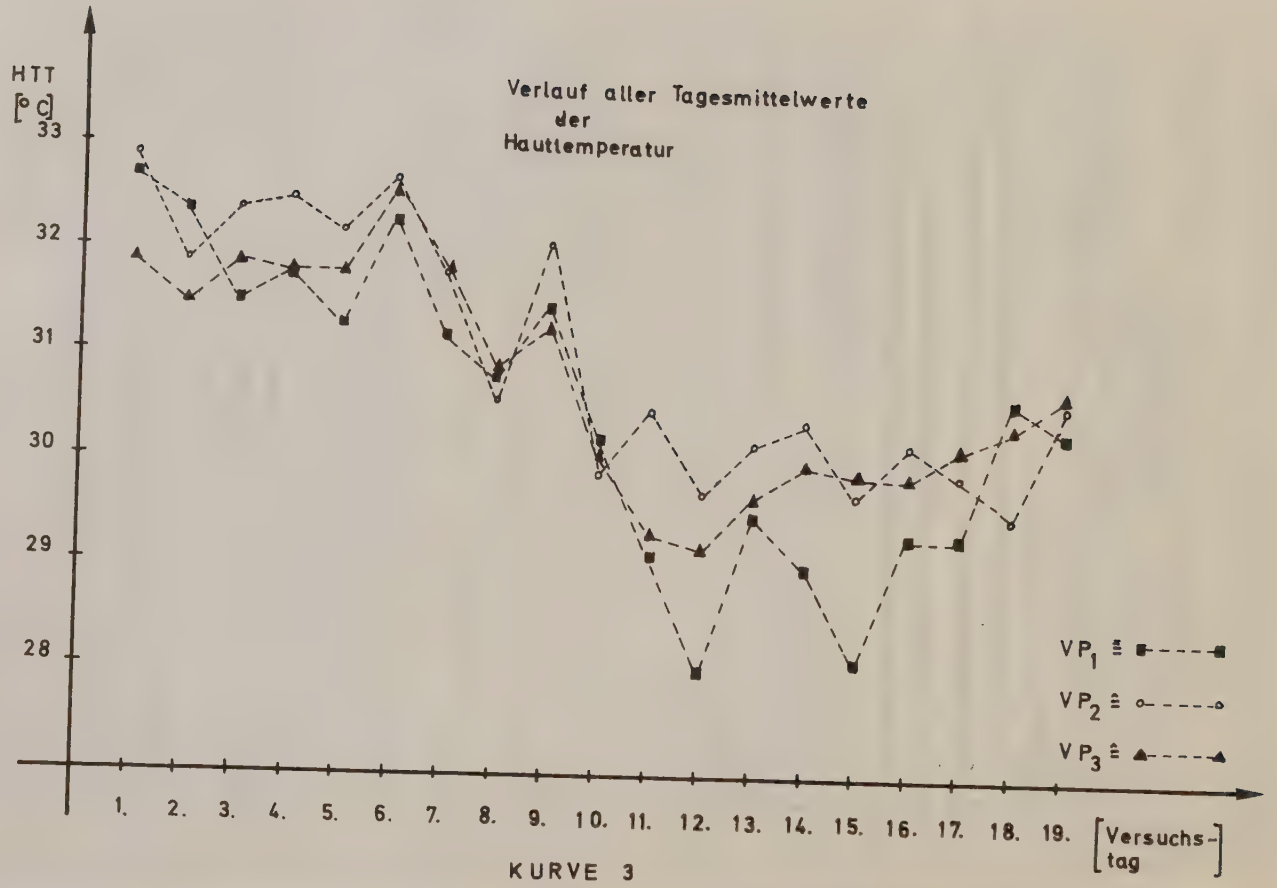
5. 1. 4. 5. Die Versuchsperson "1" hat die ausgeprägtesten Hauttemperaturschwankungen, sowohl im Periodengang als auch im Tagesgang.

5. 1. 4. 6. Die Hautwasserabgaoe schwankt bei allen Versuchspersonen im Periodenverlauf stärker als im Tagesgang.

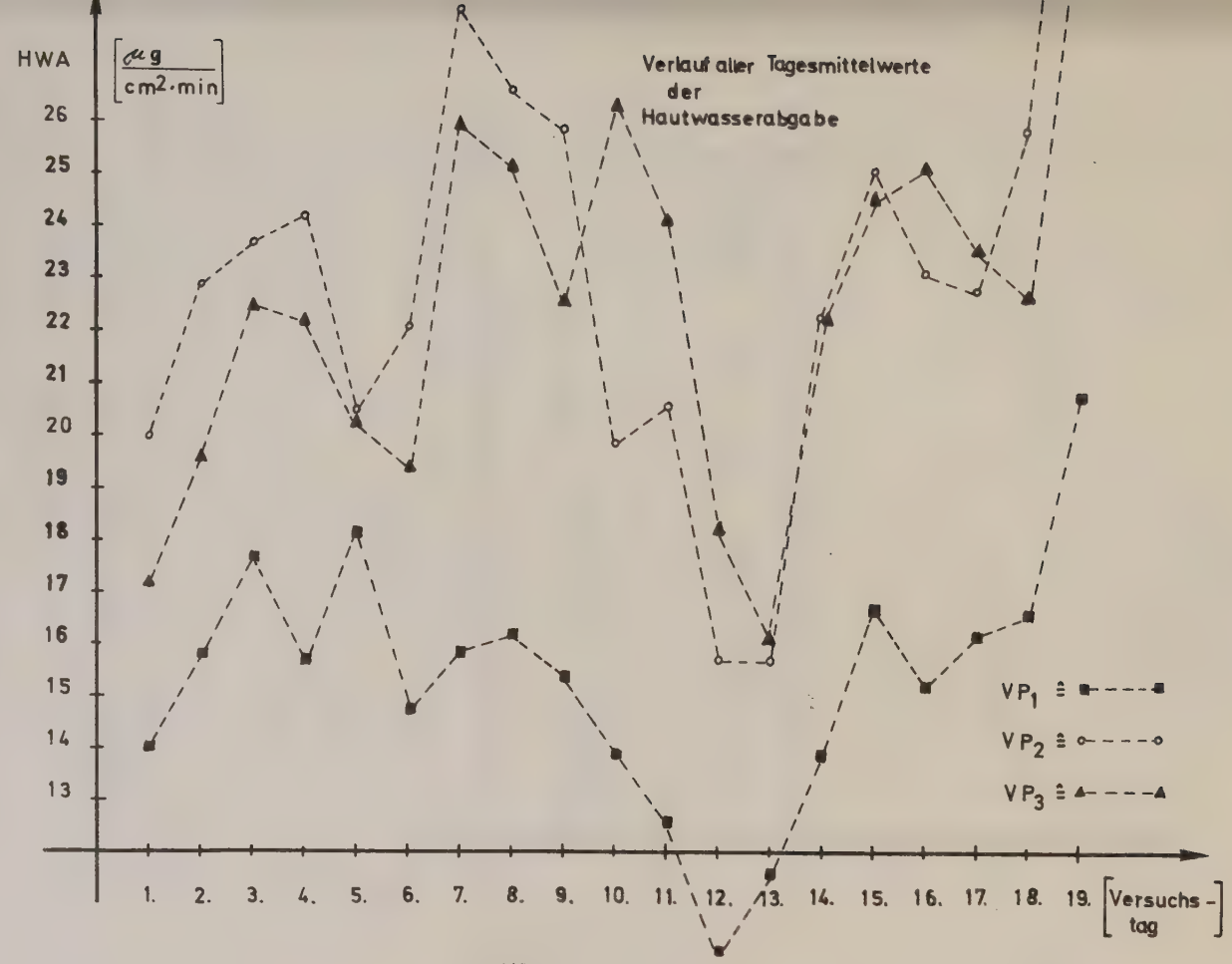
5. 1. 4. 7. Die Hautwasserabgabe der Versuchsperson "1" zeigt die geringsten Perioden- und Tagesschwankungen.

Diese Befunde lassen sich aus den Kurvenverläufen und aus der Kreuzproduktmatrix ersehen.

Vergleiche hierzu die Kurven 3,4,5,6,7,8, und die Tabellen 1 - 1V auf Seite 46 bis 53.

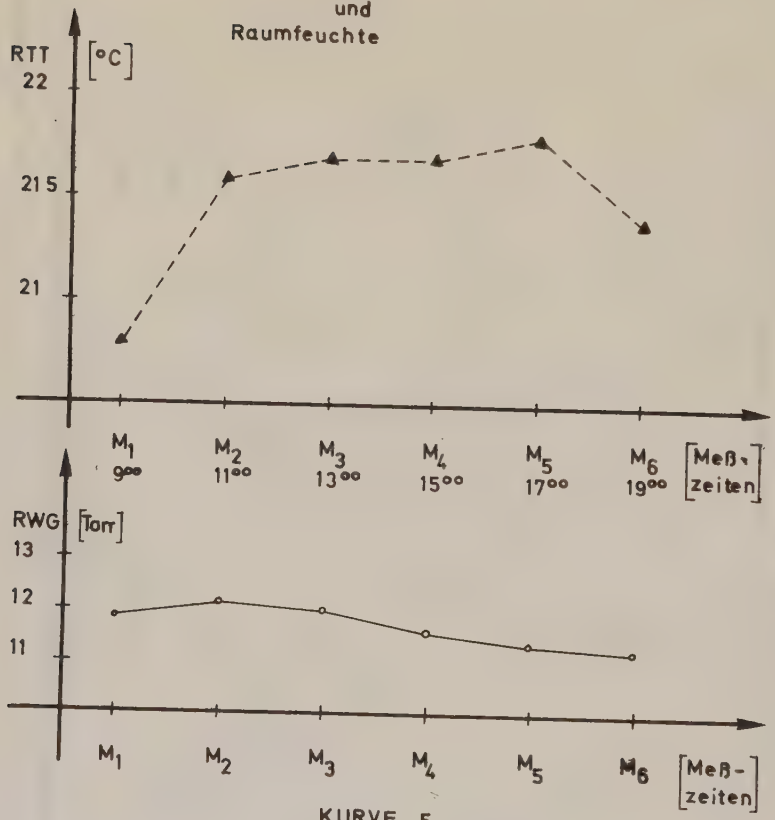

HTT
[° C]
33
32
31
30
29
28
Verlauf aller Tagesmittelwerte
der
Hauttemperatur
VP1 ≙
VP2 ≙
VP3 ≙
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19.
[Versuchs-tag]

KURVE 3

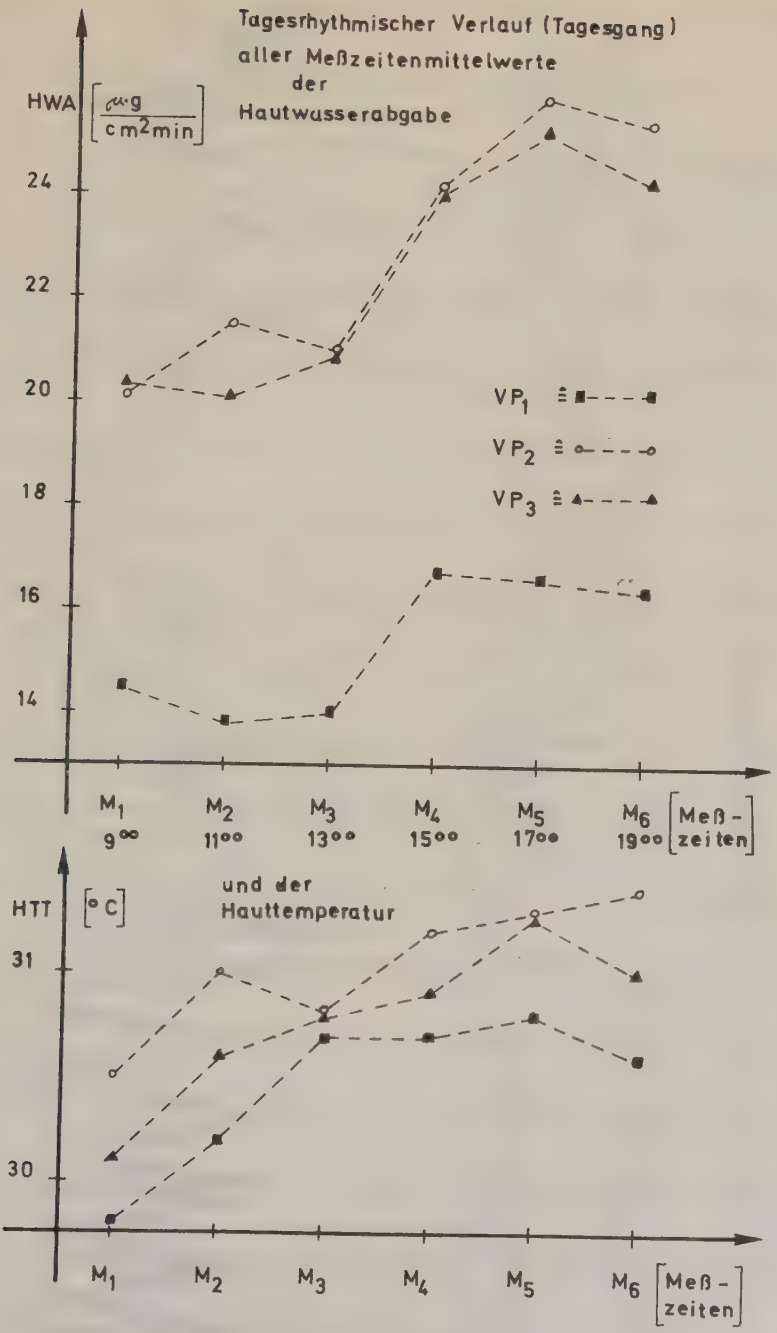

HWA
[mg / cm2·min]
Verlauf aller Tagesmittelwerte der Hautwasserabgabe
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
VP1 ≙
VP2 ≙
VP3 ≙
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19.
[Versuchs-tag]

KURVE 4

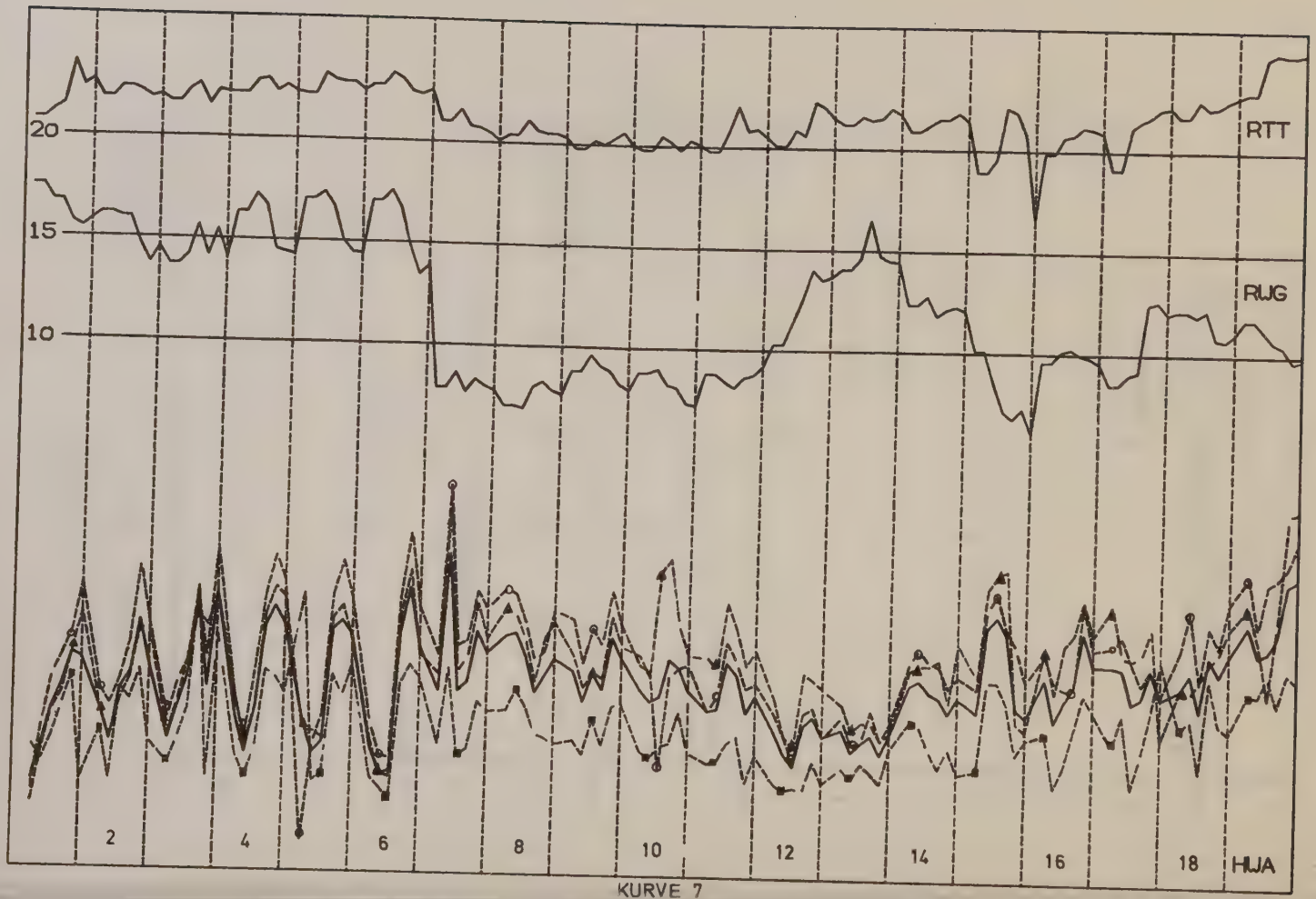
Tagesrhythmischer Verlauf (Tagesgang)
aller Meßzeitenmittelwerte
von
Raumtemperatur
und
Raumfeuchte



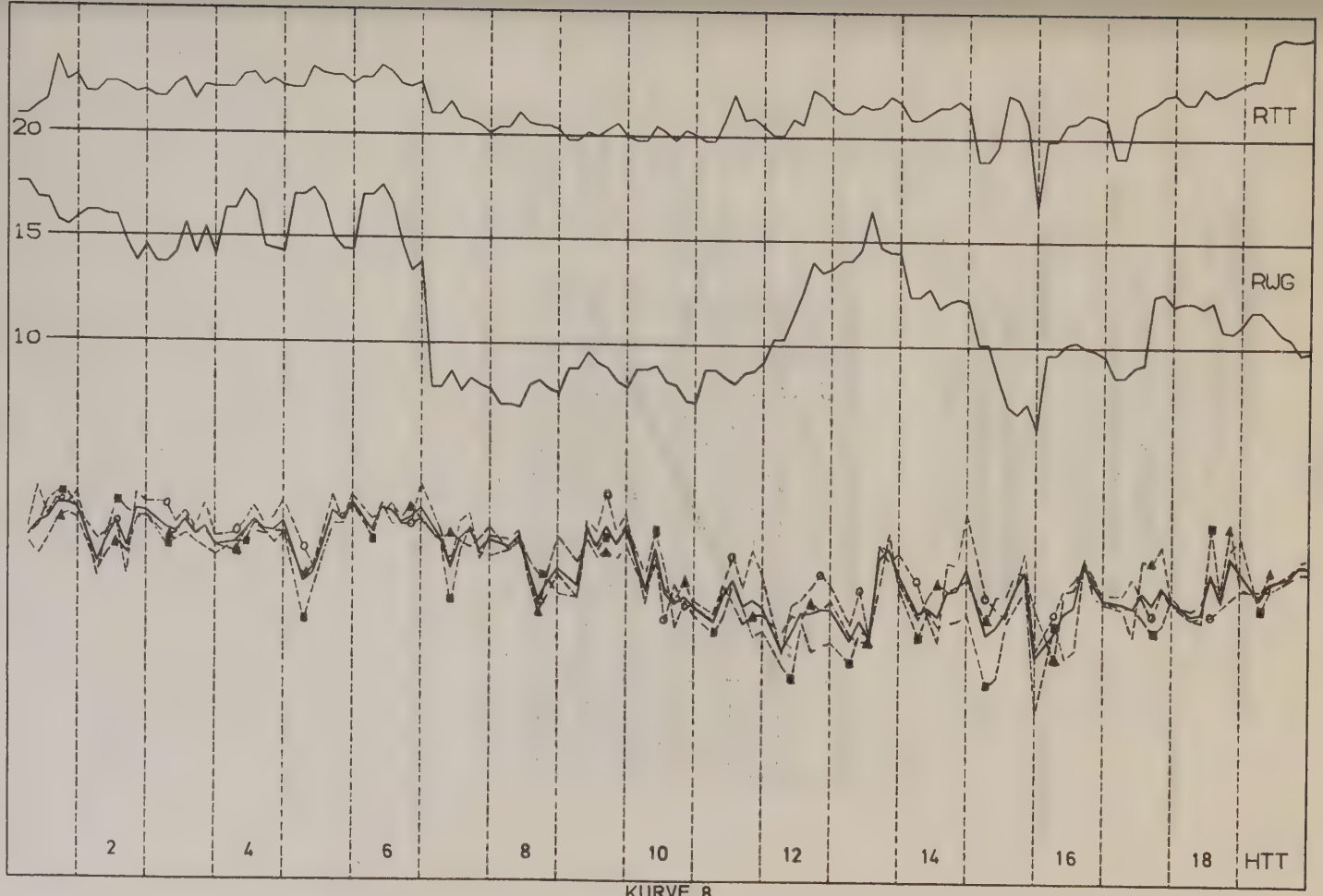
KURVE 5


Tagesrhythmischer Verlauf (Tagesgang)
aller Meßzeitenmittelwerte
der
Hautwasserabgabe
HWA
[g / cm²min]
24
22
20
18
16
14
VP1
VP2
VP3
M1 9°°
M2 11°°
M3 13°°
M4 15°°
M5 17°°
M6 19°°
[Meß-zeiten]
und der
Hauttemperatur
HTT
[°C]
31
30
M1
M2
M3
M4
M5
M6
[Meß-zeiten]

KURVE 6



KURVE 7



KURVE 8

Korrelationsmatrix (nach Signifikanzstufen schematisiert):

Komponente T (P): Felder unterhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $\nu = 52$
Korrelationskoeffizient $r_{0,1} = 0,22$
für $2\alpha = 0,1$

Komponente M (TP): Felder überhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $\nu = 283$
Korrelationskoeffizient $r_{0,1} = 0,11$
für $2\alpha = 0,1$

P = 3; T = 19; M = 6;

	RWG	RTT	HTT	HWA
RWG		+	-	=
RTT	+ +		+	+
HTT	0 (+)	+		+
HWA	-	0 (+)	0	
TZ	=	0	= =	+

TAB. I

Hier werden die Mittelwerte aller 3 Personen betrachtet.

Korrelationsmatrix für VP_1, VP_2, VP_3
(nach Signifikanzstufen schematisiert):

Komponente T: Felder unterhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $f = 17$
Korrelationskoeffizient $r_{o,1} = 0{,}38$
für $2\alpha = o{,}1$

Komponente M (T): Felder überhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $f = 93$
Korrelationskoeffizient $r_{o,1} = 0{,}16$
für $2\alpha = o{,}1$

T = 19; M = 6;

	RWG			RTT			HTT			HWA		
VP	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
RWG				0 (+)	0 (+)	0 (+)	-	0 (-)	0 (-)	-	- -	- -
RTT	+ +	+ +	+ +				+	+	+	0	0 (+)	+
HTT	0	0 ((+))	0 ((+))	+	0 (+)	+				0	0 (+)	+
HWA	0	0 (-)	-	+	0 (+)	0	+	0 ((+))	0 ((+))			
TZ	-	-	-	0	0	0	- -	- -	- -	0	0 ((+))	+

TAB. II

Kreuzproduktmatrix für:

Komponente P, T (P), M (TP)
P = 3; T = 19; M = 6;

	P	T(P)	M(TP)
HTT	0. 18	< 4. 80 >	2. 27
HWA	42. 50	> 36. 47 <	71. 96
TZ		1. 02 >	0. 00

TAB. III

Kreuzproduktmatrix für VP_1, VP_2, VP_3

Komponente T, M (T)
T = 19; M = 6;

	VP	T	M(T)
RWG		1103 .80 >	101 .69
RTT		1 .38 >	0 .50
HTT	1	2 .21 >	0 .90
	2	1 .47 >	0 .78
	3	1 .11 >	0 .58
HWA	1	6 .30 <	15 .91
	2	17 .06 <	28 .54
	3	13 .10 <	27 .51
TZ		0 .34 >	0.00

TAB. IV

5. 2. Ergebnisse der Elektrodermatometrie

5. 2. 1. Korrelationsbeziehungen

5. 2. 1. 1. Die Leitwerte am Rumpf und am Oberschenkel zeigen einen annähernd gleichen Periodenverlauf wie die Raumtemperatur und die Raumfeuchte. Dies geht aus den Kurven besonders deutlich hervor, wenn man den Basisleitwert (=gemittelter Tagesleitwert) betrachtet.

Diese Beziehung wird durch signifikant positive Korrelationen zwischen den Leitwerten am Oberschenkel und am Rumpf einerseits und der Raumfeuchte und der Raumtemperatur andererseits durch Komponente T (P) statistisch gesichert.

Für Komponente T sind diese Korrelationen statistisch zwar nicht für alle Versuchspersonen signifikant, aber zum Teil angedeutet.

5. 2. 1. 2. Die Leitwerte der Stirn zeigen einen von der Raumfeuchte und der Raumtemperatur vollkommen unabhängigen Verlauf; sie bleiben über die Versuchsdauer auf etwa gleichem Niveau.

Für die Leitwerte der Stirn sind auch in den Komponenten T (P) und T keine Korrelationen erkennbar.

5. 2. 1. 3. Die Leitwerte liegen über allen Meßstellen, ebenso wie die Raumtemperaturen, vormittags tiefer als am Nachmittag. Die Leitwerte korrelieren demnach erwartungsgemäß signifikant mit der Raumtemperatur, wie aus Komponente M (TP) zu ersehen ist.

Für die Komponente M (T) sind diese positiven Korrelationen zwar nicht immer statistisch signifikant, jedoch in jedem Falle angedeutet erkennbar.

5. 2. 1. 4. Die Leitwerte aller Meßstellen verhalten sich im Kurvenverlauf gegensinnig zur Raumfeuchte, die vormittags höher liegt als nachmittags. Dieses Verhalten wird statistisch in der Komponente M (TP) und Komponente M (T) allerdings nur durch schwach negative Korrelationen angedeutet.

5. 2. 2. Trendbeziehungen

5. 2. 2. 1. Aus den Kurven ergibt sich für die Versuchsperson "1" über allen Meßstellen ein linearer Aufwärtstrend. Dieser Befund wird auch durch die Korrelationsmatrix für Komponente T bestätigt.

5. 2. 2. 2. Für die Versuchspersonen "2" und "3" sind weder aus der Zeichnung, noch aus der Korrelationsmatrix eindeutige Trendbeziehungen zu entnehmen.

5. 2. 3. Varianzanalyse (Mittelwerte, Individuelle Streuungen, Periodengang, Tagesgang)

5. 2. 3. 1. Die Leitwerte der vergleichbaren Meßstellen bewegen sich bei allen Versuchspersonen auf ungefähr gleichem Niveau.

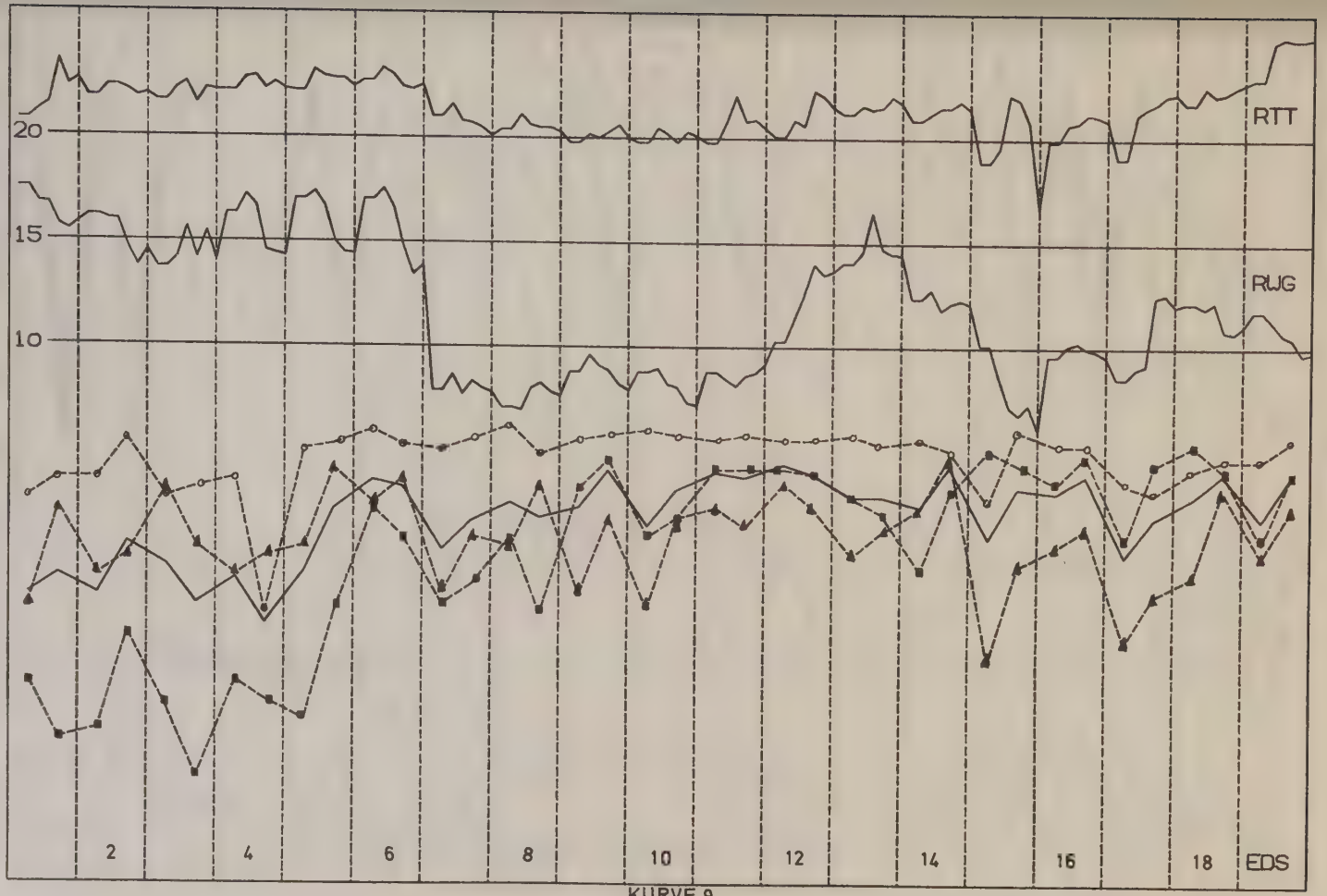
5. 2. 3. 2. Die Leitwerte liegen am Oberschenkel am tiefsten; an der Stirn sind sie am höchsten.

5. 2. 3. 3. Bei den Versuchspersonen "1" und "2" sind die Tages- und Periodenschwankungen für die Leitwerte von Rumpf und Oberschenkel etwa gleich groß. Die Versuchsperson "3" zeigt dagegen stärkere Tagesschwankungen.

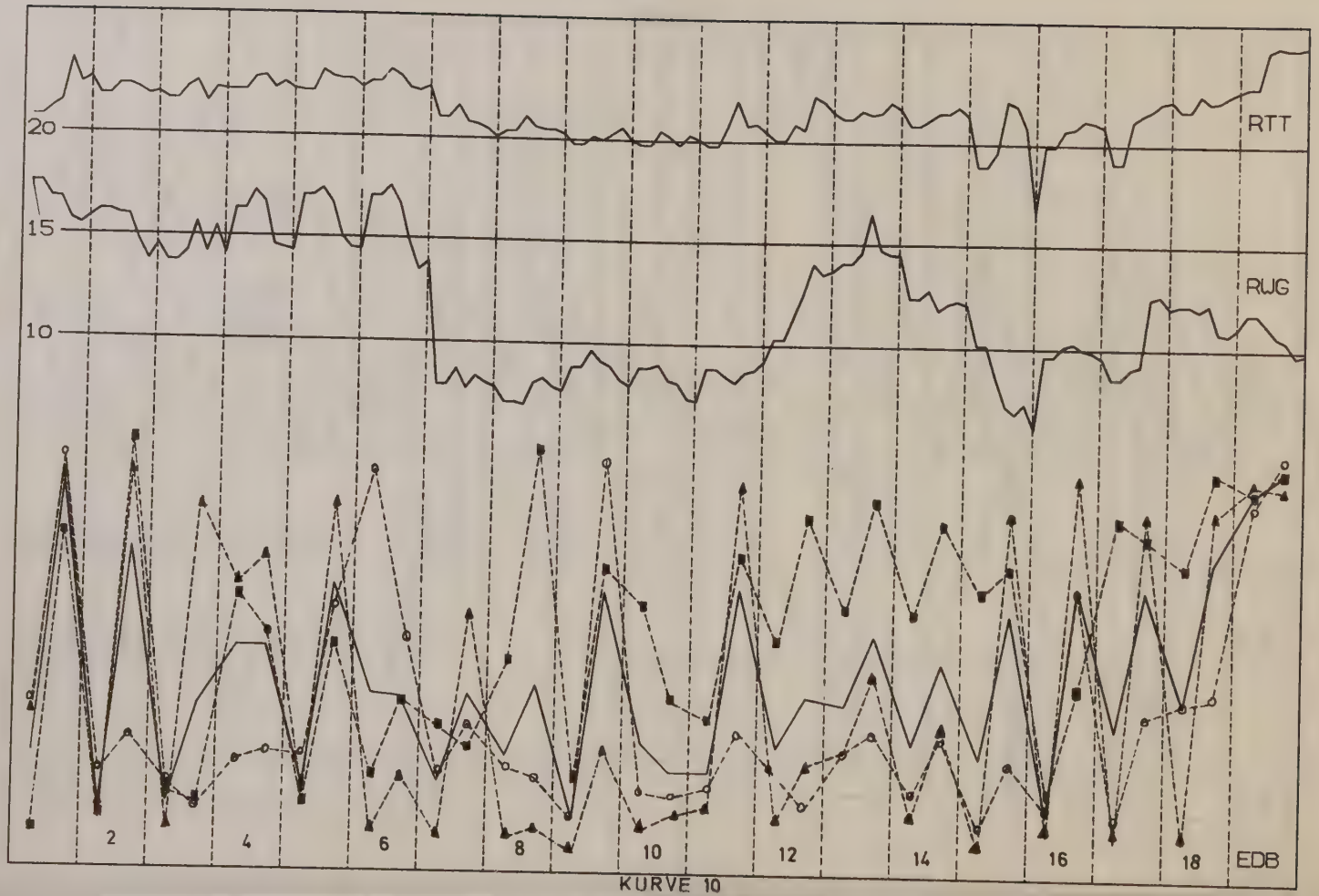
5. 2. 3. 4. Die Leitwerte der Stirn zeigen fast keine Perioden- und Tagesschwankungen.

5. 2. 3. 5. Die Leitwerte aller Meßstellen liegen am Vormittag fast durchweg unter den Nachmittagswerten.

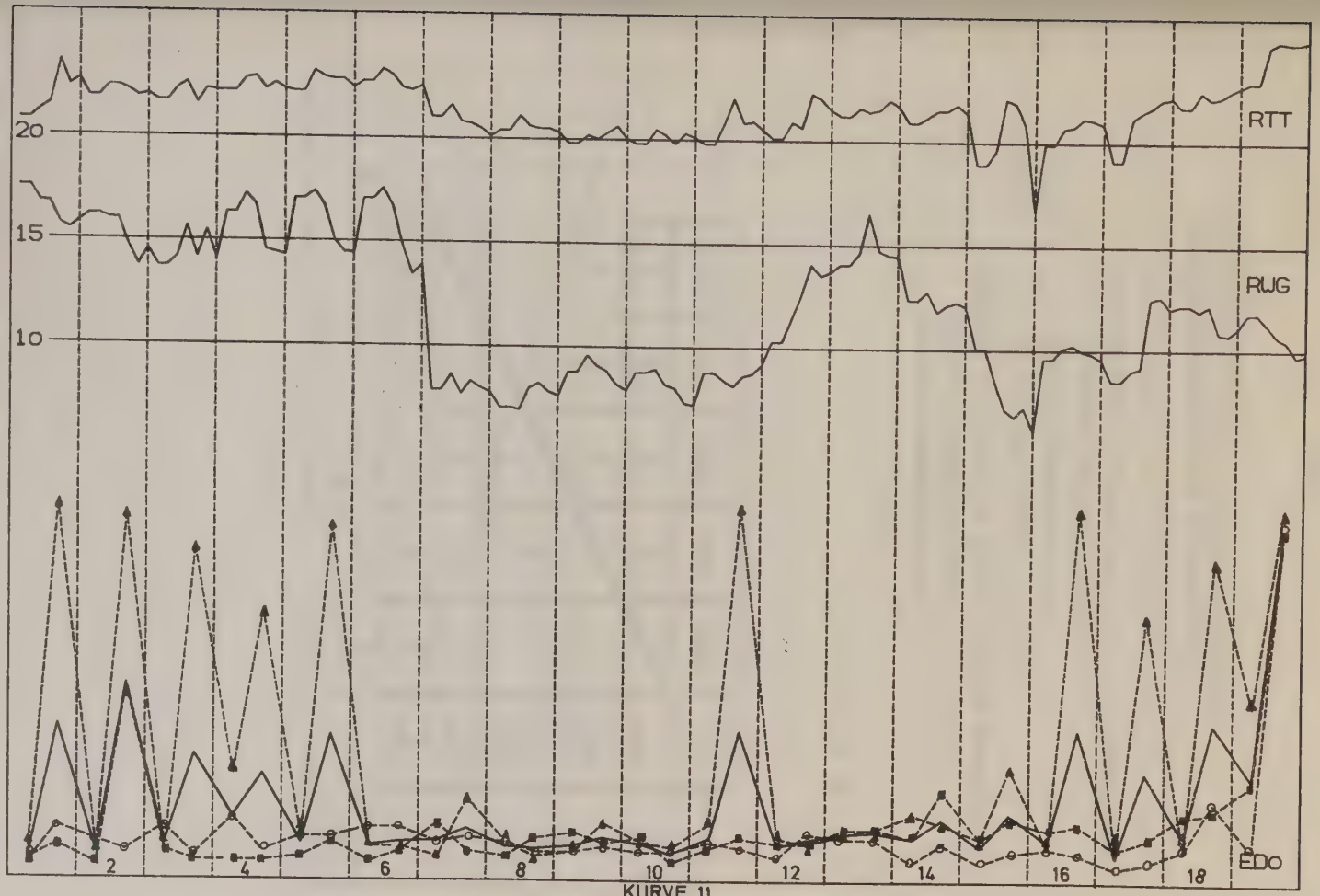
Vergleiche hierzu auch die Kurven 9,10, 11 und die Tabellen V - Vlll auf Seite 56 bis 62.



KURVE 9



KURVE 10



KURVE 11

Korrelationsmatrix für die Mittelwerte aller 3 Personen (nach Signifikanzstufen schematisiert)

Komponente T (P): Felder unterhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $f = 52$
Korrelationskoeffizient $r_{o,1} = 0,22$
für $2\alpha = o,1$

Komponente M (TP): Felder überhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $f = 55$
Korrelationskoeffizient $r_{o,1} = 0,22$
für $2\alpha = o,1$

P = 3; T = 19; M = 2;

	RWG	RTT	EDB	EDO	EDS
RWG		0	0 ((-))	0 ((-))	0 ((-))
RTT	+		+	+	+
EDB	+	+		+	+
EDO	+	+	+ +		+
EDS	0	0	0 ((+))	0	
TZ	=	0 (-)	+	0 (+)	+ +

TAB. V

Korrelationsmatrix für VP_1, VP_2, VP_3

(nach Signifikanzstufen schematisiert)

Komponente T: Felder unterhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $\nu = 17$
Korrelationskoeffizient $r_{o,1} = 0{,}38$
für $2\alpha = o{,}1$

Komponente M (T): Felder überhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $\nu = 17$
Korrelationskoeffizient $r_{o,1} = 0{,}38$
für $2\alpha = o{,}1$

T = 19; M = 2;

	RWG			RTT			EDB			EDO			EDS		
VP	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
RWG				0	0	0	0 ((-))	0	0 ((-))	0 (-)	0 ((-))	0 ((-))	0	0 ((-))	-
RTT	+	+	+				+	+	‡	0 (+)	+	‡	0 ((+))	0 (+)	+
EDB	0 ((+))	0 ((+))	0 (+)	0	‡	+				+	0 ((+))	‡	0 ((+))	0 ((+))	+
EDO	0	0	0 (+)	+	‡	+	0 ((+))	‡	‡				+	0 ((+))	+
EDS	0 ((-))	0 (-)	0 ((+))	0 (-)	0 (-)	0 (+)	0	0	0 ((-))	0	0	0			
TZ	-	-	-	0 ((-))	0 ((-))	0 ((-))	+	0	0	+	0 ((+))	0	‡	0 ((+))	0 ((-))

TAB. VI

Kreuzproduktmatrix für:

Komponente P, T (P), M (TP)
P = 3; T = 19; M = 2;

	P	T(P)	M(TP)
EDB	6 244	<40 267>	39 600
EDO	6 839	<15 462<	23 054
EDS	9 002	<17 702>	3 239
TZ		3 427>	0

TAB. VII

Kreuzproduktmatrix für VP_1, VP_2, VP_3

Komponente T, M (T)
T = 19; M = 2;

	VP	T	M(T)
RWG		351	32
RTT		0	0
EDB	1	13 130 >	10 166
	2	13 166 >	7 033
	3	14 020 <	22 401
EDO	1	3 129 >	2 002
	2	2 078 <	2 268
	3	10 254 <	18 783
EDS	1	14 278 >	1 193
	2	1 246 >	589
	3	2 178 >	1 457
TZ		1 140 >	0

TAB. VIII

5. 3. Ergebnisse zur Hautturgormessung

5. 3. 1. Kurvendiskussion und Korrelationsbeziehungen

Während der ersten 6 Versuchstage nimmt die Verformbarkeit der Haut bei allen Versuchspersonen an allen Meßstellen zu.

Die krasse Abnahme der Raumfeuchte am 7. Versuchstag wirkt sich erst am 8. Tag auf die Verformbarkeit der Haut aus. Hier zeigt sich bei allen Versuchspersonen eine vorübergehende, geringgradige Abnahme der Verformbarkeit am 7. und 8. Versuchstag, besonders am Handrücken. Der Feuchteanstieg ab dem 10. Versuchstag wird mit einer allmählichen Abnahme der Verformbarkeit beantwortet.

Der steile Feuchteabfall am 14. zum 15. Versuchstag äußert sich nur in einer minimalen Anhebung der Verformbarkeit, die dann in den letzten Versuchstagen langsam ansteigt, obwohl die Raumfeuchte ab dem 15. Versuchstag wieder ansteigt.

Da die Raumfeuchte und die Raumtemperatur den gleichen Periodengang haben, ergibt sich für die Kurvenbetrachtung dasselbe Bild.

Statistisch korreliert die Verformbarkeit an der Hand für Komponente T (P) nur schwach angedeutet negativ mit der Raumfeuchte und positiv mit der Raumtemperatur. Im Tagesablauf ist diese Korrelation für die Verformbarkeit an der Hand in Beziehung zur Raumfeuchte durch Komponente M (TP) statistisch gesichert, in Beziehung zur Raumtemperatur dagegen nicht.

Die Verformbarkeit am Bauch zeigt für Komponente T (P) und Komponente T überhaupt keine Korrelation mit der Raumfeuchte und der Raumtemperatur.

Im Tagesgeschehen korreliert die Verformbarkeit am Bauch durch die Komponente M (T) bei Versuchsperson "1" signifikant negativ mit der Raumtemperatur, für Versuchsperson "2" signifikant negativ mit der Raumfeuchte. In Komponente M (TP) ist eine schwach angedeutet negative Korrelation zwischen der Verformbarkeit am Bauch und der Raumfeuchte vorhanden.

Aus den Kurven ist zwar zu ersehen, daß die Verformbarkeit der Haut von der Feuchte und der Temperatur irgendwie abhängt, die Änderungen des Turgors verlaufen aber so langsam,

daß sie mit den Feuchtesprüngen nicht synchron laufen können. Schnelle, große Sprünge rufen keine quantitativ gleichwertigen Änderungen der Verformbarkeit hervor. Vielmehr ist es so, daß sie sich langsam in kleinen Schritten auf ein neues Umweltmilieu einstellt.

5. 3. 2. Trendbeziehungen

Die Verformbarkeit der Haut an Bauch und Hand zeigt statistisch einen leichten Aufwärtstrend, der aus den Kurven nicht ohne weiteres zu ersehen ist.

5. 3. 3. Varianzanalyse (Mittelwerte, Individuelle Streuungen, Periodengang, Tagesgang)

5. 3. 3. 1. Der Hautturgor ist bei den verschiedenen Versuchspersonen an der Hand und am Bauch nicht gleich groß. Das Ausmaß der interindividuellen Streuungen ist jedoch gering.

5. 3. 3. 2. Der Turgor ist am Handrücken im Durchschnitt geringer, die Verformbarkeit also größer als am Bauch.

5. 3. 3. 3. An der Bauchhaut zeigt Versuchsperson "3" einen höheren Hautturgor als die übrigen Personen.

5. 3. 3. 4. Am Handwurzelrücken liegt der Turgor bei Versuchsperson "1" am höchsten.

5. 3. 3. 5. Der Turgor schwankt über die Periode innerhalb einer Person am Bauch und an der Hand in gleichem Ausmaß.

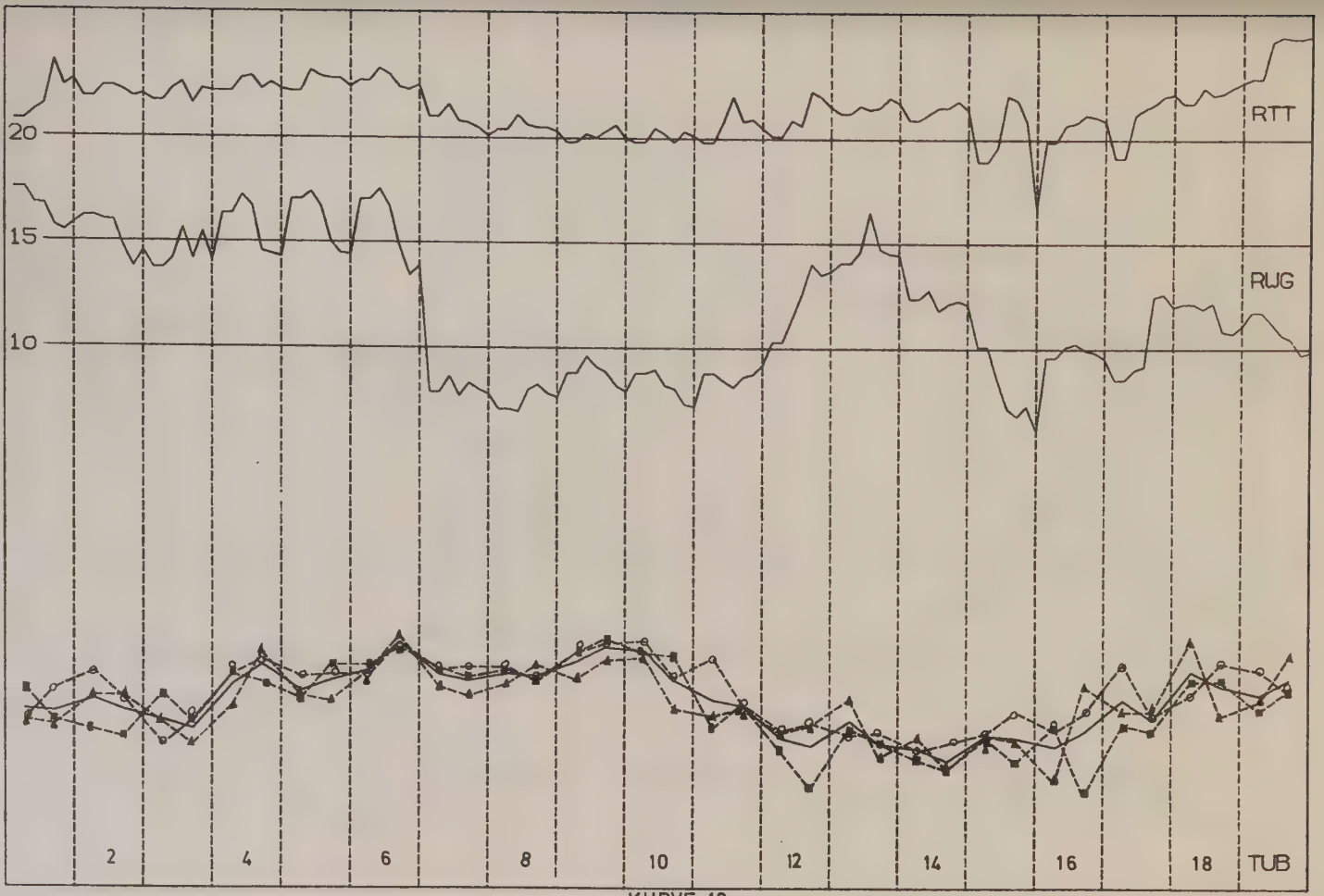
5. 3. 3. 6. Die Periodenschwankungen sind wesentlich erheblicher als die Tagesschwankungen.

5. 3. 3. 7. Die Vormittagswerte liegen manchmal über, manchmal unter den Nachmittagswerten. Die Vormittags- und Nachmittagswerte der Verformbarkeit ändern sich bei den einzelnen Versuchspersonen nicht immer gleichsinnig.

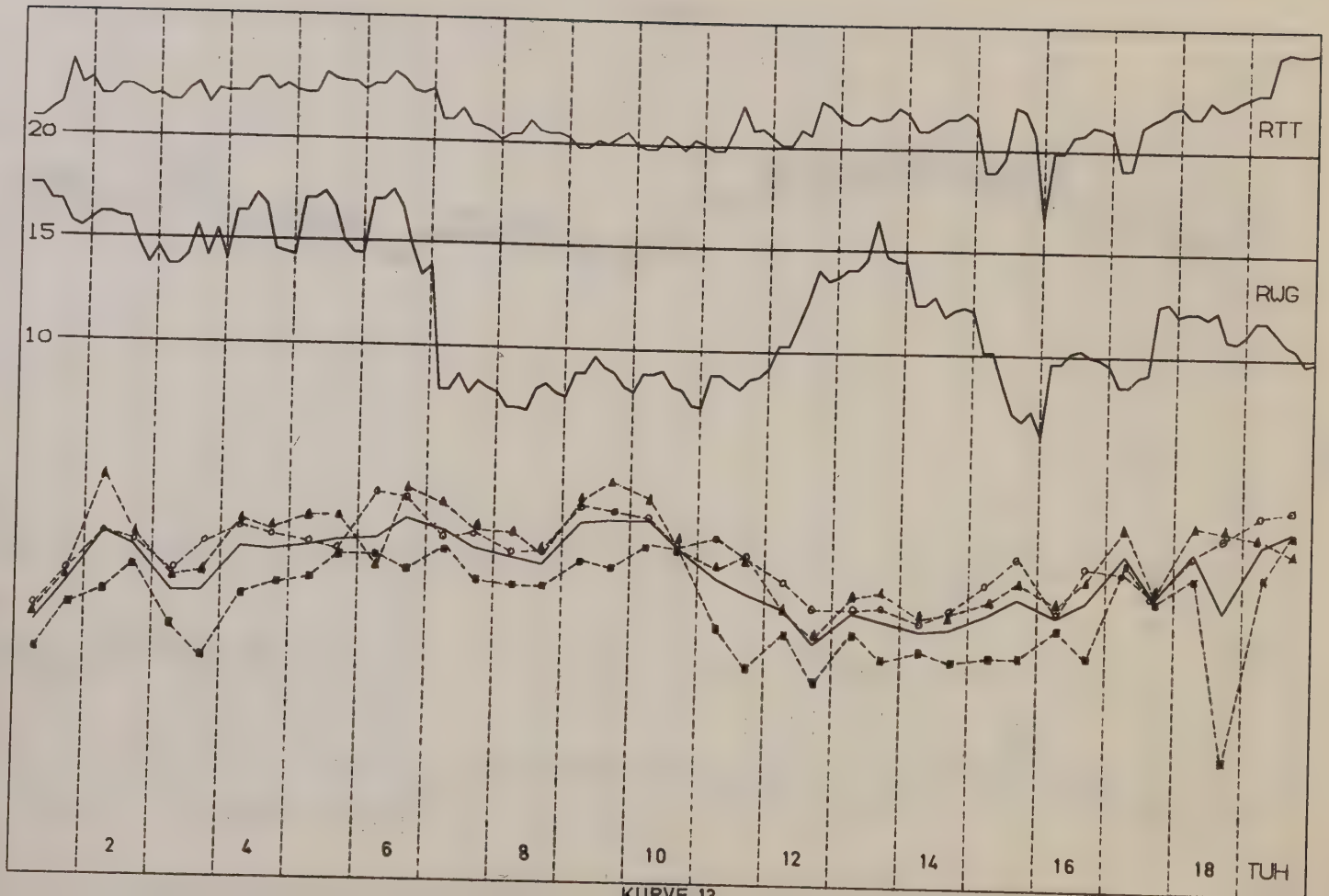
5. 3. 3. 8. Der Tagesgang der Verformbarkeit ist bei einer Versuchsperson an der Bauchhaut und am Handwurzelrücken nicht immer gleich.

5. 5. 3. 9. Feuchte- oder Temperatursprünge haben keinen erkennbaren, unmittelbaren Einfluß auf die Höhe der Vormittags- und Nachmittagswerte.

Vergleiche hierzu auch die Kurven 12 und 13, sowie die Tabellen IX - XII auf Seite 66 bis 69.



KURVE 12



KURVE 13

Korrelationsmatrix für die Mittelwerte aller 3 Personen (nach Signifikanzstufen schematisiert)

Komponente T (P): Felder unterhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $f = 52$
Korrelationskoeffizient $r_{o,1} = 0,22$
für $2\alpha = o,1$

Komponente M (TP): Felder überhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $f = 55$
Korrelationskoeffizient $r_{o,1} = 0,22$
für $2\alpha = o,1$

P = 3; T = 19; M = 2;

	RWG	RTT	TUH	TUB
RWG		0	-	0 ((-))
RTT	+		0	0
TUH	0 ((-))	0 ((+))		+
TUB	0	0 ((+))	+ +	
TZ	- -	0 ((-))	0 ((-))	-

TAB. IX

Korrelationsmatrix für VP_1, VP_2, VP_3
(nach Signifikanzstufen schematisiert)

Komponente T: Felder unterhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $\nu = 17$
Korrelationskoeffizient $r_{o,1} = 0{,}38$
für $2\alpha = o{,}1$

Komponente M (T): Felder überhalb der Diagonale
Freiheitsgrade $\nu = 17$
Korrelationskoeffizient $r_{o,1} = 0{,}38$
für $2\alpha = o{,}1$

T = 19; M = 2;

	RWG			RTT			TUH			TUB		
VP	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
RWG				0	0	0	0 (-)	0 (-)	-	0 (-)	-	0
RTT	+	+	+				0	0 (+)	0	-	0	0 (+)
TUH	0	0 (-)	0 (-)	0 (+)	0 (+)	0				0 (+)	+ +	0 (+)
TUB	0	0 (-)	0	0	0	0	+ +	+ +	+ +			
TZ	-	-	-	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)

TAB. X

Kreuzproduktmatrix für:

Komponente P, T (P), M (TP)
P =3; T = 19; M = 2;

	P	T(P)	M(TP)
TUH	12 163	<27 305>	6 901
TUB	672	<19 681>	4 683
TZ	0	< 3 420>	0

TAB. XI

Kreuzproduktmatrix für VP_1, VP_2, VP_3

Komponente T, M (T)
T = 19; M = 2;

	VP	T	M(T)
RWG		351>	32
RTT		0	0
TUH	1	11 057>	4 345
	2	7 093>	695
	3	9 135>	1 860
TUB	1	9 412>	1 026
	2	5 401>	1 059
	3	4 868>	2 553
TZ		1 140>	0

TAB. XII

6. Diskussion

6. 1. Kritik der Versuchsbedingungen

Die Klimakammer verfügt über eine bewohnbare Fläche von 3,30 x 4,50 m^2, sowie über eine kleine Abstellnische. Die Gestaltung der Inneneinrichtung wurde den drei Versuchspersonen überlassen. Dabei war ein Kompromiß zwischen Wohnlichkeit und Zweckmäßigkeit zu schließen.

Tagsüber wurde der Klimaraum durch zwei Xenonlampen beleuchtet. Dabei erwies sich auf die Dauer die gleißende Einförmigkeit des Lichtes als unangenehm und ermüdend. Es wurden deshalb des öfteren die Vorhänge zugezogen oder die Versuchspersonen hielten sich in einer dunkleren Ecke des Raumes auf. Es wäre besser die Beleuchtungsstärke zu variieren oder die weißen Fensterschirme farblich lebendiger zu gestalten. Die abendliche Neonbeleuchtung war kalt und ungemütlich. Warmes Licht, beispielsweise einer Stehlampe, wäre angenehmer gewesen.

Bezüglich der Ernährung wurde den Wünschen der Versuchspersonen vollkommen entsprochen. Dies war insofern gut, als sich die Einnahme der Mahlzeiten bald zur Sublimation der psychischen Anspannung entwickelte. Bei allen Versuchspersonen offenbarte sich mit der Zeit ein ausgesprochener "Freßtrieb", zu dessen Unterdrückung große Willenskraft aufgebracht werden mußte. Es wäre vorteilhafter kleinere Portionen kalorienarmer Nahrung zu sich zu nehmen.

Das gruppenpsychologische Verhalten der Versuchspersonen wurde von der zunehmenden psychogenen Stress - situation bestimmt. Wenn man die Ursachen eruieren wollte, so spielte bei Versuchsbeginn sicher die Unzulänglichkeit der Versuchsdurchführung eine große Rolle. Anfänglich klappten sowohl die Versuche kaum, als auch die Einhaltung des Zeitplans. Dies mußte umso schwerer ins Gewicht fallen, als den Versuchspersonen an einer exakten Durchführung besonders viel gelegen sein mußte, da es ja ihre Aufgabe war, diese später auszuwerten. Bei "neutralen Personen" würde dieses Problem wahrscheinlich gar nicht auftauchen. Trotzdem wäre es zu befürworten, die Anzahl der Versuche zu reduzieren oder aber weniger

aufwendige durchzuführen, um diesen "psychogenen Arbeitsstress" abzubauen. Später dürfte sich die zunehmende Klaustrophobie stärker bemerkbar gemacht haben und nicht zuletzt die Anwesenheit der immer gleichen Personen innerhalb der Gruppe. So ist es verständlich, daß es bald zu ausgesprochenen Aggressionsgelüsten sowohl innerhalb der Gruppe, als auch nach außen hin kam. Auch das körperliche Unausgelastetsein wirkte sich auf die Grundstimmung negativ aus. Irgendeine Art von körperlicher Betätigung, sei es durch Seilhüpfen, Expander oder ähnliches würde sich vorteilhaft auswirken. Die alleinige Benutzung des Fahrradergometers konnte bei keiner der Versuchspersonen die notwendige Entspannung herbeiführen.

Ablenkungen anderer Art wie beispielsweise Radio, Fernsehen wurden dankbar aufgenommen; auch irgendeine Sammlung von Spielen wäre gut zu verwenden.

Neben diesen Dingen ist es auch wichtig Personen zu finden, mit denen eine Aussprache möglich ist. Innerhalb der Gruppe war das nur mit Einschränkung möglich, da die einzelnen Personen nach einigen Tagen bereits in irgendeiner Weise gegeneinander fixiert waren. So wurde die Anwesenheit eines Arztes der Nervenklinik, der zweimal in der Woche zu einem Interview kam, als geradezu erfrischend empfunden.

6. 2. Zur Hautwasserabgabe und Hauttemperatur

6. 2. 1. Kritik der Methode

Im Gegensatz zu früheren Versuchen wurde die Methode zum ersten Mal im Dauerversuch unter wechselnden Bedingungen verwendet. Dabei erwies es sich als großer Vorteil, daß die Wasserdampfdrucke des Eich- und Vergleichsgases durch Verwendung zweier, unabhängig voneinander arbeitender Thermostaten frei variiert werden konnten. Durch die Möglichkeit der Nullpunktverschiebung war es nicht notwendig die Dampfdrucke des Eich- und Vergleichsgases so zu wählen, daß die erwarteten Dampfdrucke des Versuchsraumes und der Luft über der zu messenden Hautstelle im Differenzbereich jener lagen. Es genügte, den Nullpunkt so zu wählen, daß der angezeigte Raum- bzw. Meßwert noch im

Anzeigebereich des Registriergerätes lag. Dies setzt jedoch voraus, daß man den Gang der Raumfeuchteschwankungen kennt und diese nicht überraschend groß sind.

Der Zeitbedarf zur Vorbereitung einer Messung betrug im Durchschnitt 10 - 12 Min. Dabei mußte bei jeder Änderung der Schaltereinteilung im Mittel eine Zeit von 1 min berechnet werden, bis sich der neue Wert auf ein konstantes Niveau eingestellt hatte. Diese Zeit ist in erster Linie von der Länge des Schlauchsystems abhängig. In der Regel wurde der Verlauf eines Wertes über die Zeitdauer einer Minute verfolgt. Die eigentliche Messung der Hautwasserabgabe wurde im Durchschnitt vier Minuten bei jeder Versuchsperson durchgeführt, wobei sich in der Regel bereits nach einer Minute ein konstanter Wert einstellte. Am Schluß jeder Messung wurde jeweils der Raumwert und der Nullwert noch einmal bestimmt, wobei immer festgestellt werden konnte, daß die Apparatur in sich keinen Trend zeigte. Dafür wurden weitere 10 Minuten gebraucht.

Die gesamte Versuchszeit für die Messung betrug bei drei Personen somit etwa 55 Minuten. Obwohl es im Versuch weniger darauf ankam absolut genaue Werte der Hautwasserabgabe zu ermitteln, sondern die Änderungen der Hautwasserabgabe präzise zu erfassen, lagen die Ergebnisse der Messungen mit Werten von 0,0088 - 0,0408 mg/cm^{2}min durchaus im Bereich der in der Literatur angegebenen Werte (33,34,24) von 0,0118 - 0,057 mg/cm^{2}mi bei konstanten Bedingungen.

Es erwies sich im Dauerversuch außerdem als vorteilhaft, daß fortlaufend gemessen wurde und somit alle Veränderungen der Hautwasserabgabe erfaßt werden konnten. Durch die Möglichkeit der graphischen Aufzeichnung war eine sofortige Auswertung nicht notwendig. Außerdem ist das Gerät einfach, auch von Ungeübten zu bedienen. Eine ausführliche Diskussion der Methode im Vergleich mit anderen Verfahren wird in der Arbeit von F r i c k e (24) gebracht.

6. 2. 2. Zu den Ergebnissen der Hautwasserabgabe und Hauttemperatur

Der Tagesgang der Hauttemperatur entspricht bei unseren Versuchen durchaus dem bekannten Verhalten der Tagesperiodik der Körpertemperatur (73). Dabei kommt es morgends bei peripherer Vasokonstriktion und niedriger, aber im Verlauf des Vormittages ansteigender Hauttemperatur zu einem Aufheizen des Körperkerns, dem eine abendliche Entwärmung mit Vasodilatation und hoher, aber absinkender Hauttemperatur folgt (38).

Es ist bekannt, daß die Hauttemperatur bei gleichbleibenden Umweltbedingungen tagesperiodische Schwankungen zeigt. Ebenso erwiesen ist aber auch, daß die Hauttemperatur im Bereich unterhalb der Schwitzgrenze den kleinsten Schwankungen der Umwelttemperatur folgt (4). Bei dem Tagesgang, den die Hauttemperaturen unserer Versuchspersonen zeigen, ist also auch an ein passives Folgen der Hauttemperatur mit der Raumtemperatur zu denken, da tatsächlich beide den gleichen Tagesgang zeigen.

Wahrscheinlich liegt eine Verknüpfung dieser beiden Effekte vor, da ja die Temperatur vielen biologischen Vorgängen als Rhythmusgeber dient (3,78).

Das morgendliche Ansteigen der Hauttemperatur wird durch die am Morgen niedrige Hautwasserabgabe unterstützt, da durch dieses Verhalten die hauttemperatursenkenden Verdunstungseffekte der Hautwasserabgabe vermindert sind. Am Abend liegt die Hautwasserabgabe höher als vormittags und bewirkt nun durch vermehrten Wärmeverlust infolge Verdunstung auch eine Senkung der Hauttemperatur.

Die Hauttemperatur wird im Tagesverlauf von der Wärmeabgabe durch Strahlung wechselnd beeinflußt. Die Kammerwände des Klimaraumes hatten bei unserem Versuch dieselben Temperaturen wie die Raumluft. Man könnte nun von der Überlegung ausgehen, daß der Faktor $(T^4_{Haut} - T^4_{Umgebung})$ der Boltzmannschen Gleichung bei parallelem Anstieg von Hauttemperatur und Raumtemperatur -- diese Bedingung ist bei uns annähernd erfüllt -- , also bei Gleichbleiben von ΔT, im Laufe

des Tages größer wird und somit die Wärmeabgabe durch Strahlung vormittags niedrig und nachmittags hoch ist; dadurch würde vormittags das Ansteigen der Hauttemperatur unterstützt, während sie nachmittags dadurch erniedrigt würde. Eine Nachrechnung (Rechenschiebergenauigkeit) ergibt jedoch, daß sich der Faktor nur um etwa 1,05 ändert. Der Strahlung kommt somit für den Tagesverlauf der Hauttemperatur in unserem Versuch nur eine geringe Bedeutung zu.

Die Wärmeabgabe durch Leitung und Konvektion bleibt über den Versuchstag gleich, da sie eine lineare Funktion der Temperaturdifferenz ΔT von Haut- und Raumtemperatur ist, wie aus dem Faktor $(T_{Haut} - T_{Luft})$ der Büttnerschen Gleichung hervorgeht.

Die Hautwasserabgabe verhält sich reziprok zur Raumfeuchte. Im Bereich unserer täglichen Feuchteschwankungen von durchschnittlich einem Torr kommt also die Hautwasserabgabe einem physikalischen Diffusionsvorgang gleich. Dieser Befund ist auch aus der Literatur bekannt (9, 71).

Auf die funktionelle Abhängigkeit zwischen der Hauttemperatur und der Hautwasserabgabe hat schon K l a p p i c h (50) hingewiesen. Sie steht auch in Einklang mit unseren Ergebnissen für die Versuchspersonen "2" und "3". Auffällig ist an unseren Untersuchungen jedoch, daß sich bei Versuchsperson "1" im Tagesgang überhaupt kein Zusammenhang der Hautwasserabgabe und der Hauttemperatur, sowie der Raumtemperatur zeigt.

Betrachtet man die Kurven der Hauttemperatur, so zeigt sich, daß sie bei der Versuchsperson "1" niedriger liegen als bei Versuchsperson "2" und "3". Die Hauttemperaturen der Versuchspersonen "2" und "3" liegen also schon näher an dem Bereich, der der Schwitzgrenze nahekommt, die T h a u e r (71) mit 34 °C Hauttemperatur angibt, und in dem der Perspiratio insensibilis bei der Wärmeregulation erhöhte Bedeutung zukommt. Man kann diesen Befund so deuten, daß die Versuchsperson "1" noch in der Lage ist, Raumtemperaturänderungen am Tage durch Variation der Hauttemperatur allein auszugleichen,

während die Versuchsperson "2" und "3" schon ein weiteres Stellglied der Wärmeregulation, nämlich die Hautwasserabgabe, einsetzen müssen. Dafür spricht auch, daß die Hautwasserabgabe und die Hauttemperatur bei Versuchsperson "2" und "3" statistisch positiv miteinander korrelieren. Diese Aussage trifft allerdings nur für den Tagesverlauf mit seinen relativ kleinen Schwankungen der Temperatur und Feuchte zu.

W e z l e r (81) hat darauf hingewiesen, daß jede Raumfeuchteerhöhung eine Steigerung der örtlichen und mittleren Hauttemperatur bewirkt. Dieser Befund kann durch unsere Ergebnisse nur für den Periodenverlauf bestätigt werden. Im Tagesverlauf zeigt die Hauttemperatur dagegen eine negative Korrelation zur Raumfeuchte.

Diese negative Korrelation ist als thermoregulatorischer Vorgang schwer erklärlich. Man könnte nun von der Überlegung ausgehen, daß sich -- nach unseren Ergebnissen -- die Hautwasserabgabe bei Versuchsperson "2" und "3" wesentlich stärker reziprok zur Raumfeuchte verhält als bei Versuchsperson "1" und sich somit die Hauttemperatur über die temperaturregelnde Funktion der Hautwasserabgabe proportional zur Raumfeuchte verhalten müßte. Andererseits könnte aber eine positive Kopplung der Größen Raumfeuchte und Raumtemperatur, Raumtemperatur und Hautwasserabgabe, sowie Hauttemperatur und Hautwasserabgabe eine so starke Beeinflußung der Hauttemperatur zur Folge haben, daß diese wieder reziprok zur Raumfeuchte würde. Freilich bleibt dann immer noch unerklärlich, warum dieses reziproke Verhalten ausgerechnet bei Versuchsperson "1", bei der die Größen Hautwasserabgabe und Hauttemperatur, sowie Hautwasserabgabe und Raumtemperatur nicht korrelieren, statistisch als negative Korrelation signifikant wird.

Die Hautwasserabgabe ist sowohl im Tages- als auch im Periodenverlauf bei den einzelnen Individuen verschieden groß. Die gewonnen Meßwerte entsprechen aber gut denen, die von T h a u e r, K e r s l a k e, W e b b und H e e r d (34)

angegeben werden. Auf die individuellen Unterschiede wurde schon in früheren Arbeiten hingewiesen (2,76). Als wahrscheinlichste Ursache werden dabei verschiedene Diffusionswiderstände infolge dickerer oder dünnerer Epidermis oder Variation der glandulären Ruhesekretion angeführt.

Interessant an unseren Versuchen ist die Tatsache, daß die Versuchsperson "1" mit der geringsten Hautwasserabgabe und der niedrigsten Hauttemperatur am größten, am schwersten, am muskulösesten gebaut war, einen größeren Unterarmumfang und natürlich auch eine größere Körperoberfläche hatte.

Es wäre verlockend, die niedrige Hauttemperatur und Hautwasserabgabe dieser Person durch die Annahme erklären zu wollen, daß der Versuchsperson "1" bei gleichem Energieumsatz wie bei Versuchsperson "2" und "3" eine größere Körperoberfläche zur Wärmeabgabe zur Verfügung stehe und die "lokale Konzentration" des Wärmetransportes bezogen auf eine Hautstelle geringer sein müßte. Bildet man jedoch den Quotienten aus der Körperoberfläche nach der Dubois'schen Formel (30)

$$\text{Körperoberfläche} = k_1 \times \text{Gewicht}^{0,42} \times \text{Länge}^{0,75}$$

und dem Energieumsatz nach der Formel

$$\text{Energieumsatz} = k_2 \times \text{Gewicht}^{0,75}$$

so werden die Quotienten für die Versuchspersonen "1" und "3" (Versuchsperson "1" hat eine Länge von 180cm und ein Gewicht von 75 kg; Versuchsperson "3" hat eine Länge von 175 cm und ein Gewicht von 72 kg) gleich, nämlich 0,85 (Rechenschiebergenauigkeit). Da der Energieumsatz mit der Wärmebildung und diese wiederum mit der Wärmeabgabe eng verknüpft ist, ist der Schluß, daß bezogen auf die Gesamtkörperoberfläche die relativ gleiche Wärmemenge in irgendeiner Weise abgegeben werden muß, zulässig. Damit ist obige Überlegung widerlegt und es müssen andere Erklärungen dieses Umstandes herangezogen werden, auf die weiter unten näher

eingegangen wird.

Im Gegensatz zum Tagesverlauf, bei dem ansteigende Raumtemperaturen und Hauttemperaturen zu verzeichnen waren, sinken im Periodenverlauf die Raumtemperaturen und die Hauttemperaturen ab. Sie bewegen sich also von der kritischen Schwitzgrenze weg. Die gleichsinnige Abhängigkeit der Hauttemperatur und der Raumtemperatur, auf die schon hingewiesen wurde, zeigt sich auch hier.

Überraschend ist jedoch, daß die Hautwasserabgabe nur bei Versuchsperson "3" signifikant negativ mit der Raumfeuchte korreliert, während die Hautwasserabgabe der Versuchsperson "1" keinen Zusammenhang mit der Raumfeuchte zeigt.

S. H e b e r l e i n (32) konnte zeigen, daß die Haut bei abnehmender Feuchte dem Wasserdurchtritt einen immer größer werdenden Diffusionswiderstand entgegensetzt. Die Dampfdrucke, bei denen der Diffusionswiderstand die Hautwasserabgabe entscheidend beeinflußt, sowie die Größe des Diffusionswiderstandes wurden individuell unterschiedlich gefunden. Da sich die Feuchtesprünge bei unserem Versuch bezogen auf das Ausgangsniveau nur nach unten bewegten, ist die fehlende Korrelation zwischen Raumfeuchte und Hautwasserabgabe bei Versuchsperson "1" vielleicht dadurch zu erklären, daß die Hautwasserabgabe dieser Person sich schon relativ früh, das heißt bei großen Feuchten von der reziproken Abhängigkeit zur Raumfeuchte gelöst hat und ihren eigenen Gang gegangen ist.

Dieser Gang ist bei der Versuchsperson "1" von der Hauttemperatur bestimmt, mit der sie positiv korreliert. Die Hauttemperaturen liegen aber bei Versuchsperson "1" tiefer als bei allen anderen. Deshalb ist auch der Temperaturgradient, den Versuchsperson "1" zur Wärmeregulation durch Strahlung und Konvektion aufbaut, geringer und demnach auch die Wärmeabgabe schwerer als bei den übrigen Versuchspersonen.

Man könnte davon ausgehen, daß Versuchsperson "1" infolge geringerer Stoffwechselaktivität weniger Wärme abgeben muß.

Dies ist jedoch unwahrscheinlich, da die Arbeits- und Ruhebedingungen für alle Versuchspersonen gleich waren.

Auch das Vorliegen eines systematischen Meßgerätefehlers ist zu erwägen, zumal da bei Versuchsperson"1" immer zuerst gemessen wurde.Dies ist jedoch unwahrscheinlich, da vor und nach jedem Versuch sowohl die Raumtemperatur und die Raumfeuchte gemessen wurden und innerhalb der Meßdauer kein Trend festzustellen war.

Versuchsperson "1" kann natürlich auch die Atmung in stärkerem Maß als Versuchsperson "2" und "3" zur Wärmeregelung herangezogen haben. Dies müßte durch einen Vergleich mit dem Gang der Atemfrequenz eruiert werden.

Es ist aber auch denkbar, daß beispielsweise die untere Extremität mehr zur Wärmeregulation herangezogen wurde als die obere.

Auch die Körperoberflächenverhältnisse müssen in die Überlegungen mit einbezogen werden. Die Bekleidung dürfte keine Rolle spielen, da alle Versuchspersonen gleich, mit Hemd und kurzer Hose, bekleidet waren.

Wahrscheinlich ist es jedoch so, daß die niedrige Hauttemperatur bei Versuchsperson "1" über eine zusätzliche Abkühlung durch die synchron verlaufende Hautwasserabgabe zustande kommt, was einer Ökonomisierung der Wärmeregulation gleichkommt.

Man kann des Verhalten der Versuchsperson "1" im Periodengang folgendermaßen typisieren:

Die äußere Störgröße Raumtemperatur wird mit Hilfe der Hauttemperatur u n d der Hautwasserabgabe ausgeregelt. Der Einfluß der Störgröße Raumfeuchte auf die Hauttemperatur und die Hautwasserabgabe ist unbedeutend. Versuchsperson "1" zeigt ein f e u c h t e s t a b i l e s Verhalten.

Ganz anders als Versuchsperson "1" verhält sich Versuchsperson "3". Hier verhält sich die Hautwasserabgabe noch reziprok zur Raumfeuchte, was dadurch erklärt werden kann, daß die Barrierefunktion der Epidermis schwächer ist oder

erst bei tieferen Dampfdrucken der Umgebungsluft an Bedeutung gewinnt.

Die Hauttemperatur liegt höher als bei Versuchsperson "1", wodurch die Wärmeabgabe durch Strahlung und Konvektion erleichtert ist.

Versuchsperson "3" regelt also die äußere Störgröße Raumtemperatur nur mit Hilfe der Hauttemperatur aus. Die Hautwasserabgabe verhält sich dagegen wie ein passiver Diffusionsvorgang zur Raumfeuchte. Versuchsperson "3" zeigt also ein f e u c h t e l a b i l e s Verhalten.

Ob für den "feuchtestabilen Typ" die Langzeitregelung mittels zweier Stellglieder, nämlich der Hauttemperatur u n d der Hautwasserabgabe, für den "feuchtelabilen Typ" die Regelung n u r mittels der Hauttemperatur obligatorisch oder rein zufällig ist, kann hier nicht entschieden werden.

Die Versuchsperson "2" zeigt ein Verhalten, das zwischen diesen beiden Extremen liegt.

Auf dieses feuchtelabile, beziehungsweise feuchtestabile Verhalten kann auch aus den Trendbeziehungen geschlossen werden. Die Raumfeuchte sinkt ja im Laufe der Versuchstage ab. Bemerkenswerterweise steigt bei der Versuchsperson "3", von der der geringere Diffusionswiderstand des epidermalen Wasserdurchgangs angenommen wurde, die Hautwasserabgabe im selben Maß an, während die feuchtestabile Versuchsperson "1" keinen linearen Aufwärtstrend der Hautwasserabgabe zeigt.

Da mit dem Absinken der Raumfeuchte auch die "Effektivtemperaturen" (81) absinken, sinkt bei allen Versuchspersonen die Hauttemperatur ab. Die Hauttemperatur fällt jedoch steiler ab als die Raumfeuchte, so daß man diese Senkung der Hauttemperaturen auf aktive Maßnahmen zur Wärmeregulierung zum Beispiel im Sinne einer Vasokonstriktion (7) zurückführen kann.

Möglicherweise kommt der Abwärtstrend der Hauttemperatur auch durch einen zunehmenden Sympathikotonus zustande. Dieser könnte durch eine Verschiebung des Klimaoedingungen zur tonisierenden, kontinentalen Seite hin (72) erklärt werden,

da sich im Verlauf des Versuches die Klimabedingungen tatsächlich zur trockenen, kühlen Seite hin bewegten.

Sicherlich spielt auch die zunehmende Klaustrophobie und der psychogene Arbeitsstress hierbei eine Rolle. Diese sympathikotone Reaktion könnte durch einen Vergleich mit dem Gang der Katecholaminausschüttung verifiziert werden.

Von Interesse ist auch die zwei Tage andauernde Verschiebung des Tagesganges der Hautwasserabgabe bei den großen Feuchtestürzen am 7. und 14. Versuchstag, zumal da sie durch eine Veränderung der Tagesperiodik von Raumfeuchte und Raumtemperatur nicht erklärt werden kann. Auch der Tagesgang der Hauttemperatur der einzelnen Versuchspersonen änderte sich ebensowenig wie der Tagesgang der Raumfeuchte und der Raumtemperatur.

A s c h o f f (3) hat darauf hingewiesen, daß eine Desynchronisation und Dissoziation von biologisch schwingenden Systemen grundsätzlich möglich ist. Vielleicht kann man die großen, schnellen Feuchteabnahmen in unserem Versuch in diesem Sinn als einen Faktor werten, der die Schwingungen der biologischen Größen Hautwasserabgabe und Hauttemperatur desynchronisiert.

Sollte diese Annahme, die durch weitere Versuche noch verifiziert werden müßte, zutreffen, so ist sie sicherlich nicht ohne Bedeutung auf das Befinden der betroffenen Menschen.

Es ist nicht schwer einzusehen, daß eine Desynchronisation solcher im Rahmen ihrer wärmeregulatorischen Funktion normalerweise synergetisch arbeitender Größen durch den hieraus entstehenden funktionellen Antagonismus dieser Systeme eine merkliche Störung der ganzen wärmeregulatorischen Situation mit sich bringt.

H i l d e b r a n d t (38) hat darauf hingewiesen, daß das tägliche Aufheizen des Körperkerns auf die Organsysteme vitalisierend und stimulierend wirkt, während die abendliche Auskühlung als wohlig ermüdend empfunden wird.

Eine Verschiebung der Tagesmaxima der Hautwasserabgabe

würde aber eine Aufheizung des Körperkerns, wenn nicht unterbinden, so doch wenigstens schwächen. Die Folge wäre, daß die interdiurne Rhythmik der Körpertemperatur nicht mehr so ausgeprägt ist. Es tritt dann der Zustand der Ermüdung und des Ruhebedürfnisses ein, der am Abend zwar wohlig, tagsüber aber, wenn die Organsysteme im Rahmen einer Arbeitsleistung gefordert werden, als äußerst mißliebig empfunden werden muß.

Ob diese möglichen Irritationen des Organismus subjektive Beschwerden machen, hängt sicherlich vom Grad seiner Kompensationsfähigkeit ab.

Es könnten aber dadurch manche Allgemeinsymptome, wie Müdigkeit, Abgeschlagenheit, Konzentrationsschwäche, Arbeitsunlust über die besonders ältere oder vegetativ labile Menschen bei Wetterlagen mit extrem niedriger Luftfeuchte, wie beispielsweise bei Föhn, klagen, erklärt werden.

6. 3. Zur Elektrodermatometrie

6. 3. 1. Kritik der Methode

Da die Elektroden polarisierbar sind, tritt an ihnen eine Polarisationsspannung auf, die dem durchströmenden Gleichstrom entgegengerichtet ist und ihn schwächt. Sie ist abhängig von der Fläche der Elektroden, der Schichtdicke der Mullschicht und der Molarität der Ableitungslösung. Es wird also nicht nur der Widerstand der Haut, sondern der des ganzen Systems Meßgerät plus Haut gemessen. Außerdem beeinflußt in der oberen Hornschicht nicht nur das natürliche

Hautpotential den Stromdurchgang, sondern das durch den Ableitungselektrolyten hervorgerufene Konzentrationspotential. Obwohl alle Meßbedingungen und somit dieser methodische Fehler konstant gehalten wurden, kommt vorgenannter Feststellung doch eine Bedeutung zu:

Es sind keine Aussagen über die absolute Höhe des Hautwiderstandes zu machen, sondern nur vergleichende Aussagen über verschiedene Messungen zulässig.

Einschränkend ist weiterhin zu bemerken, daß mit vorliegender Apparatur keine Aussage darüber gemacht werden kann, in welcher Tiefe der Hautschichten und in welcher Intensität die von der Anode ausgehenden Stromschleifen die verschiedenen Epidermisschichten durchdringen. Selbst wenn dieser Einwand als nicht so bedeutend angesehen werden sollte, so muß man sich doch darüber im klaren sein, daß mit unserer Versuchsanordnung keine Aussage darüber getroffen werden kann, in welcher Schicht sich die den Hautwiderstand beeinflussende, entscheidende Änderung der epidermalen Verhältnisse abspielt. Gerade dies wäre aber im Interesse einer exakten Deutung der Hautwiderstandsänderungen unbedingt notwendig, wenn jene nicht auf dem Stadium der Empirie und der Vermutungen stehen bleiben soll.

Legt man nachfolgender Betrachtung das Ersatzschaltbild nach K r a u s e (52) in Abbildung III auf Seite 14 und die schematische Skizze der Hautmembranen nach Abbildung II auf Seite 12 zugrunde, so lassen sich verschiedene Überlegungen anstellen. Von grundsätzlicher Bedeutung für den Hautwiderstand ist, inwieweit freie Ladungsträger, also Ionen, auf die Hautkapazitäten verteilt sind, welche elektromotorische Kraft sie entwickeln und wie diese gerichtet ist.

Von E b b e c k e (zit. n. 48) wurde festgestellt, daß das einer biologischen Membran anliegende Potential durch Druck eine Positivierung erfährt, wodurch ein die Membran durchfließender Gleichstrom weniger geschwächt wird. Nach K e l l e r (48)wird dieses Phänomen so erklärt, daß durch

den Druck der Porenabstand der negativ geladenen Membranen vergrößert wird, die Kationen leichter permeieren können und die Membran positivieren. Derselbe Vorgang wird bei Temperaturerhöhung angenommen und als "elektromotorische Thermoreaktion" beschrieben.

Die Schicht, an der sich innerhalb der Haut diese Vorgänge abspielen können, ist das Stratum conjunktum mit seiner Doppelschichtkapazität und die Schweißdrüsenmembran.

Als Druckfaktoren kommt von außen jeder mechanische Einfluß in Frage; von innen kann durch Vasodilatation, interstitielles Ödem, erhöhten zellulären Hautturgor (48, 52) der Porenabstand der negativ geladenen Potentialmembranen vergrößert werden.

Die Diffusionskapazität kann nur durch eine Änderung des Ionengehaltes der interstitiellen Flüssigkeit beeinflußt werden. Dies wäre bei Änderung der Durchfeuchtung der Haut der Fall (52). Da diese Vorgänge aber zum Teil sympathisch, zum Teil parasympathisch gesteuert werden, kann eine Leitwertänderung auch nicht immer mit einem Sympathikotonus oder Parasympathikotonus in Zusammenhang gebracht werden. Dies wurde auch schon von F o r e l l (23), M o l d a e n k e (53), und R o e s e r - B l e y postuliert (61). Wichtig für die Messung des elektrischen Hautwiderstandes ist wahrscheinlich in welcher Schicht und in welchen quantitativen Ausmaßen sich diese Vorgänge abspielen.

Es ist zum Beispiel denkbar, daß der Sympathikus durch verschiedene Angriffsmechanismen ganz unterschiedlichen Einfluß auf die Messung des Leitwertes nimmt; einerseits könnte durch sympathische Vasokonstriktion der Hautgefäße der Leitwert erniedrigt, andererseits aber durch sympathische Schweißdrüsentätigkeit erhöht werden.

Kompliziert wird die ganze Deutung dadurch, daß nach M o n t a g u (54) der Hautwiderstand vom Hautpotential unabhängige Fluktuationen zeigt und nach S h a v e r (65) der Hautwiderstand angeblich nur von den Epidermiszellen und nicht von den Schweißdrüsen beeinflußt wird.

Da aber mit vorliegender Apparatur sowieso nur die Summe aller erfaßbaren Vorgänge registriert wird, ist eine Analyse der

einzelnen Vorgänge nicht möglich und die Deutung der Leitwertänderungen der Haut kann nur durch Vergleich der bisher vorliegenden empirischen Ergebnisse betrieben werden kann.

6. 3. 2. Zu den Ergebnissen der Elektrodermatometrie

Die Kurzrhythmik des elektrischen Hautwiderstandes äußert sich nach R u t e n f r a n z (zit. n. 48) darin, daß die niedrigsten Leitwerte vormittags von 9^{00} - 10^{00}, die höchsten um 15^{00} gemessen werden können. R e g e l s b e r g e r (58) trifft zwar eine etwas andere Zeiteinteilung, wichtig ist jedoch, daß bei beiden die Vormittagswerte niedriger als die Nachmittagswerte sind.

Dies wurde auch bei unseren Versuchen beobachtet. Wichtig für die Überlegung, warum die Leitwerte vormittags niedriger sind als nachmittags, ist die Tatsache, daß bei unseren Versuchen die Raumtemperatur vom Vormittag zum Nachmittag ebenfalls anstieg. Dadurch kommt eine positive Korrelation zwischen diesen Größen zustande, obwohl ihre kausale Beziehung damit nicht gesichert ist.

Es ist denkbar, daß andere endogene oder exogene Parameter dieses tagesrhythmische Verhalten des Leitwertes entscheidender beeinflussen. R e g e l s b e r g e r (59) macht tatsächlich dafür die Nahrungsaufnahme, deren Begleiterscheinung eine Steigerung der Perspiratio insensibilis infolge erhöhter Stoffwechselaktivität ist, verantwortlich; Rutenfranz lehnt diese Erkärung jedoch ab.

Auf dem 43. Italienischen Dermatologenkongress im Jahre 1959 (zit. n. 48) wurde von einer Herabsetzung des Gleichstromwiderstandes der Haut bei ansteigenden Umwelttemperaturen berichtet. Dies entspräche auch unseren Ergebnissen.

Bei unseren Versuchen kommt aber noch ein zusätzlicher Faktor, die Raumfeuchte, zur Betrachtung.

Sie verhält sich im Tagesablauf reziprok zum Leitwert und kann also, da sie am Morgen höher ist als am Nachmittag ebenso ein Ansteigen des Leitwertes vom Vormittag zum Nachmittag bewirken, wenn man von der Überlegung ausgeht, daß sie über

eine gleichlaufige Hautwasserabgabe - was ja tatsächlich der Fall ist - zustande kommt. Sie kann aber auch nur unterstützend auf den primär von der Raumtemperatur gesteuerten Vorgang wirken.

Die biologischen Mechanismen, über die eine Leitwertveränderung zustande kommt, werden seit längerer Zeit diskutiert. Man ist sich heute darüber einig, daß die Hautwasserabgabe und alle anderen Vorgänge, die eine verstärkte Durchfeuchtung der Haut bewirken, den Leitwert entscheidend beeinflussen (1, 23, 52, 51, 14).

Der Hauttemperatur kommt nur insofern eine Bedeutung zu, als über sie die Hautwasserabgabe zum Teil gesteuert wird. Sie selbst hat wahrscheinlich keine so große Bedeutung. So konnte D o r s c h e i d zeigen (zit. n. 48), daß bei Raumtemperaturen von 20 - 21 °C die Leitwerte sowohl nach Qualität als nach Quantität nur zu ungefähr 60 Prozent mit der lokalen Hauttemperatur parallel gehen.

Für unsere Ergebnisse ist es von Interesse zu erörtern, welcher klimatischer Parameter den entscheidenden Einfluß auf den Widerstand der Haut nimmt.

Im Tagesverlauf zeigen die Raumtemperatur und die Raumfeuchte gegenläufige Beziehungen und unterstützen sich somit gegenseitig in ihrem Einfluß auf die Hautleitwerte. Im Periodenverlauf zeigen sie jedoch gleichsinniges Verhalten. Es wäre demnach zu erwarten, wenn beide Parameter den gleichen Einfluß auf die Hautleitwerte nähmen, daß sie sich in ihrer Wirkung aufheben und somit keine Korrelationen zwischen Leitwerten und Raumtemperatur sowie Raumfeuchte möglich wären.

Die Leitwerte korrelieren jedoch im Periodenverlauf mit der Raumtemperatur und der Raumfeuchte positiv. Dies kann dadurch erklärt werden, daß die Raumtemperatur den entscheidenden Einfluß nimmt. Die positive Korrelation zwischen den Hautleitwerten und der Raumfeuchte käme dann über die positive Verknüpfung zwischen Raumfeuchte und Raumtemperatur zustande.

Die Leitwerte der Stirn müssen gesondert betrachtet werden, da sie sich nicht ohne weiteres mit den anderen Hautstellen vergleichen lassen. R e g e l s b e r g e r (58) hat darauf

hingewiesen, daß sich besonders im Bereich des ersten Trigeminusastes psychogalvanische Reflexe (Tarschanoffsche und Veraguthsche Reflexe) abspielen, die eine Deutung der Leitwertänderungen erschweren.

Daß sich die Leitwerte gleicher Meßstellen bei den einzelnen Versuchspersonen in der Größenordnung ähnlich verhalten, wurde schon von anderen Autoren (58,59) festgestellt.

B ö r n g e n und H e r b i g e r (14) haben festgestellt, daß die Niveauunterschiede bei den Einzelpersonen zwischen Stirn, Bauch und Oberschenkel nicht besonders groß sind.

Nach unseren Ergebnissen liegen die Leitwerte bei den einzelnen Versuchspersonen jedoch am Oberschenkel am niedrigsten und an der Stirn am höchsten. Sie unterscheiden sich durch den Faktor 8. Auch K l e i n e - N a t r o p (51) und W a g n e r (75) konnten zeigen, daß die Leitwerte an der Stirn am höchsten sind. R e g e l s b e r g e r (60) fand bei seinen Versuchen, daß die Leitwerte am Rumpf meist niedriger sind als an den Extremitäten. Nach unseren Ergebnissen liegen die Leitwerte am Rumpf etwas höher als die unteren Extremität. W a g n e r (75) ist der Meinung, daß die Leitwerte von den Dermatomen D_{10} und L_2 etwa gleich groß sind. Es wäre denkbar, daß diese unterschiedlichen Befunde durch verschiedene "Aktivitätszustände" der gemessenen Hautstellen, wie wir sie zum Beispiel nach Muskelarbeit am Bein, oder durch die Art der Bekleidung der Versuchspersonen annehmen können, hervorgerufen werden.

Unsere Probanden waren mit einem Hemd oder leichtem Pullover und kurzer Hose bekleidet. Es ist deshalb durchaus denkbar, daß eine Erhöhung der Temperatur und der Durchfeuchtung der bekleideten Hautstellen ein Mikroklima schafft, über das die höheren Leitwerte am Bauch zustande kommen.

Die hohen Stirnwerte können durch eine direkte Kopplung der Stirntemperatur an die Kerntemperatur (23) erklärt werden. Auch die besonders geringen Tagesschwankungen an der Stirn, auf die schon M o l d a e n k e (53) hingewiesen hat,

könnten hierin ihre Ursache haben.

Während der Versuchsdauer findet ein Absinken der Raumfeuchte und der Raumtemperatur statt, wodurch sich das Klima zur kalt-trockenen Seite hin verschiebt. B u c k (zit.n.61) hat festgestellt, daß sich der Leitwert bei trocken-kontinentalem Klima tatsächlich erhöht. Mit dieser Feststellung ist auch der Aufwärtstrend der Leitwerte bei Versuchsperson "1" erklärbar. Ob dieser Leitwertanstieg auch einem erhöhten Sympathikotonus zukommt, so wie dies R e g e l s b e r g e r (59) postuliert, müßte ein Vergleich mit der Katecholaminausschüttung oder am Verhalten des Pulses oder des Blutdruckes zeigen.

Das Fehlen eines Aufwärtstrends bei den anderen Versuchspersonen ist wohl auf eine größere Erträglichkeitsbreite klimatischer Änderungen zurückzuführen.

6. 4. Zur Hautturgormessung

6. 4. 1. Kritik der Methode

Die vorliegende Apparatur vereinigt Bauelemente des Federsklerometers nach E x n e r , T a u d l e r , M a n g o l d und S c h u l t e (43), sowie des Elastometers nach S c h a d e (49) und der Hohlzylindermethode nach K ü l b s (45) in sich. Sie wurde ohne Kenntnis dieser Geräte entwickelt. Beim Federsklerometer und beim Elastometer wird der Widerstand gegen das Eindrücken eines Tasters, der unter Federdruck steht, bestimmt (43, 48). Diesem Bauelement kommt in der von uns benützten Apparatur (siehe auch Abb. VI, Seite 36) der Druckstempel gleich. Mit dieser Vorrichtung allein lassen sich jedoch zwei Dinge bestimmen: Die Faserelastizität der Haut, die Textur, und die Gewebsdurchtränkung, der Turgor. Wichtig dabei ist, daß der Zeitverlauf des Tastereindrückens eine Rolle spielt.

Die sofort bei Eindrücken des Stempels erfolgte Veränderung der Haut ist Ausdruck der Elastizität. Läßt man den Stempel weiterhin mit der Kraft K auf die Hautstelle einwirken (ungefähr 5 Minuten), so stellt man fest, daß er immer

weiter bis zu einem Endwert hin einsinkt. Dieses Phänomen wird von Schade durch das Verdrängen von Gewebsflüssigkeit durch den Stempel erklärt. Wird die einwirkende Kraft plötzlich Null, so erreicht die geprüfte Hautstelle nicht sofort ihren ursprünglichen Zustand, sondern sie behält eine Verformung bei. Die Differenz zwischen Ausgangs- und Endwert bezeichnet Schade als Elastizitätsdefizit, das er als Ausdruck des Hautturgors wertet.

Bei der von uns gebrauchten Apparatur drückt der Druckstempel nur so lange auf die Haut, bis der Untersucher den Meßvorgang durch Umlegen des Hebels beendet hat. Dies dauert bei Geübten etwa 5 - 10 Sekunden. Daraus ist zu ersehen, daß mit diesem Bauelement allein hauptsächlich die Textur der Haut erfaßt wird. In der von K. Dirnagl entworfenen Apparatur wurde jedoch zusätzlich zum Druckstempel der Auflagestempel verwendet. Dieser ist dem Hohlzylinder vergleichbar, den Külbs zur Bestimmung des Hautturgors verwendet hat. K ü l b s (45) ging von der Überlegung aus, daß bei kurzfristigem, kräftigem Eindrücken des Hohlzylinders auf die Haut die Gewebsflüssigkeit nach den Seiten verdrängt sein müßte und die Rückbildungszeit der dadurch hervorgerufenen Verformung ein direktes Maß für den Hautturgor sei.

Bei der vorliegenden Apparatur ist der Druck des Auflagestempels sicher nicht so groß wie der von Külbs angewendete; es ist aber durchaus denkbar, daß der Auflagestempel die Gewebsflüssigkeit nach den Seiten hin verdrängt. Das bedeutet, daß auch die Hautstelle, auf die der Druckstempel drückt, mit Gewebsflüssigkeit angereichert wird, wodurch die Turgorbestimmung vordergründiger wird.

Absolute Messungen des Hautturgors, so wie Jochims ihn definiert und so wie Külbs sie durchgeführt hat, sind aber mit unserer Apparatur sicher nicht durchführbar. Wenn man allerdings von der Vorraussetznung ausgeht, daß die Textur der Haut innerhalb einer begrenzten Altersgruppierung konstant bleibt und nur die Gewebsdurchtränkung veränderlich ist, so sind vergleichende Messungen des Turgors zulässig.

Da also mit unserer Apparatur die Momentansumme mehrerer Charakteristika der mechanischen Hauteigenschaften erfaßt wird, soll im Rahmen dieser Arbeit der Turgor der Haut als diese Summe definiert sein, deren variabler Teil für unsere weiteren Betrachtungen allein maßgebend sein soll.

Da von uns außerdem nicht der Turgor selbst, sondern die Eindringtiefe eines Druckstempels bestimmt wurde, war es notwendig einen neuen Begriff einzuführen: Als Begriff wurde "Verformbarkeit" gewählt. Dieses Wort bedeutet in dem von uns gebrauchten Sinn nichts anderes als den Kehrwert des Hautturgors. Mit anderen Worten bedeutet große Verformbarkeit einen kleinen Hautturgor und umgekehrt.

Die Handhabung des Turgormessgerätes macht nur bei einiger Übung keine Schwierigkeiten, obwohl es nicht leicht ist, das Gerät immer genau senkrecht auf die Haut aufzusetzen und den Hebel genau in dem Moment umzulegen, in dem das Führungsrohr die Grenzmarke des Auflagestempels berührt. Bei der Einübung betrug die Abweichung bei Kontrollmessungen bis zu 20 Prozent. Im Versuch wurden deshalb immer zwei Messungen an einer Hautstelle durchgeführt, deren Werte gemittelt wurden.

6. 4. 2. Zu den Ergebnissen der Hautturgormessung

Aus den Ergebnissen ist zu ersehen, daß die Verformbarkeit der Haut von der Raumtemperatur und der Raumfeuchte beeinflußt wird. Bemerkenswerterweise zeigt der Hautturgor, nach unserer Definition der Kehrwert der Verformbarkeit, ein dem Gang der Raumfeuchte gleichsinniges Verhalten.

Es erhebt sich die Frage, über welche Beziehungen diese Größen zusammenhängen. Grundlage hierfür ist die Betrachtung des Wassergehaltes der Haut (44,68).

In den vorhergehenden Versuchen über die Hautwasserabgabe wurde gezeigt, daß sich die Hautwasserabgabe reziprok zur Raumfeuchte verhält. Ginge man von der Voraussetzung aus, daß bei beispielsweise verminderter Hautwasserabgabe die Wasserverluste der Haut verringert sind, dann müßte der

Wassergehalt der Haut steigen. Das heißt aber, daß bei hoher Raumfeuchte auch die Durchtränkung der Haut mit Wasser vergrößert wäre. Dies würde einen hohen Turgor bei hohen Raumfeuchten bedeuten und umgekehrt, so wie es tatsächlich in unseren Versuchen festgestellt wurde.

Aus obigen Untersuchungen der Hautwasserabgabe war jedoch zu ersehen, daß die Hautwasserabgabe den Feuchteschwankungen geradezu reziprok quantitativ folgt, während der Hautturgor sich zwar mit der Raumfeuchte ändert, aber so langsam, daß schnelle Änderungen der Feuchte wie zum Beispiel am 14. und 15. Versuchstag nicht mehr mitgemacht werden können.

Deshalb können die schnellen Änderungen der Hautgewebsdurchtränkung bei wechselnder Hautwasserabgabe keine ausreichende Erklärung bieten.

In den Mittelpunkt des Interesses müssen deshalb Vorgänge rücken, die langsam verlaufen. Hierbei scheiden alle nerval gesteuerten Vorgänge aus. In Betracht kommen dagegen langsame Diffusionsvorgänge, osmotische Vorgänge, endokrine Vorgänge, Veränderungen von Enzymaktivitäten sowie Veränderungen der Gewebsverhältnisse um die terminale Strombahn.

Es ist bekannt, daß in der terminalen Strombahn pro Tag ungefähr 80 l Flüssigkeit im arteriellen Kapillarschenkel ins Interstitium ausgepreßt und im venösen Schenkel regurgiert werden (55). Eine vermehrte Durchtränkung des Gewebes würde bedeuten, daß entweder die Regurgitation vermindert oder das Ultrafiltrat im arteriellen Teil erhöht ist. Ursächlich können dafür Veränderungen der osmotischen Verhältnisse und der Membranpermeabilitäten im Dreikammersystem der Körpersäfte ebenso in Frage kommen wie Erhöhungen des Drucks der Flüssigkeit im kapillaren Schenkel der terminalen Strombahn.

Von T h a u e r und W e z l e r (80) wurde festgestellt, daß der Blutdruck mit der Feuchte und der Temperatur steigt. Ob bei unseren Versuchen tatsächlich der Blutdruck und der Hautturgor in dieser Weise zusammenhängen, müßte durch den Verlauf des Blutdruckes geprüft werden. Freilich bleibt auch dann noch die Frage offen, ob sich diese Blutdruckänderungen in der oben dargelegten Weise auf die terminale Strombahn aus-

wirken.

Eine Vermehrung der interstitiellen Flüssigkeit ist ebenso durch eine vermehrte osmotische Aktivität der interstitiellen Grundsubstanz möglich. Besonders durch die Wirkung der Hyaluronidase wird die osmotische Kraft der Grundsubstanz erhöht (49).

Da die Enzymaktivitäten bei steigender Temperatur entsprechend der RGT - Regel ansteigen, liegt der Schluß nahe, daß sich über eine Steigerung der Hyaluronidasewirkung auch die osmotische Kraft der Grundsubstanz erhöht. Das würde aber bedeuten, daß bei erhöhter Raumtemperatur über eine Erhöhung der Hauttemperatur der Turgor infolge vermehrter Gewebsdurchtränkung ansteigen müßte. Bei uns ist jedoch das Gegenteil, wenigstens statistisch, erkennbar. Der Grund für dieses Verhalten könnte sein, daß die interstitielle Flüssigkeit in ungebundener, also leicht verdrängbarer Form (45), vorliegt und somit turgorerniedrigend wirkt oder aber die Viskosität der Grundsubstanz durch die erhönte Hauttemperatur abnimmt, was sich wiederum turgorsenkend auswirken müßte, da hierbei der "Spreading effect" (49), das ist das seitliche Ausweichen einer Gewebsflüssigkeit auf Druck, begünstigt würde.

Es ist aus der Literatur bekannt, daß mit einer Erhöhung der Hauttemperatur eine Verminderung des Elastizitätsdefizits verbunden ist (49). Dieser Befund wäre in gute Übereinstimmung mit den oben angestellten Überlegungen zur Viskositätsänderung bei wechselnder Hauttemperatur zu bringen.

Es wäre interessant hierbei das Verhalten des Kortisols in seiner Wirkung als Inhibitor der Hyaluronidase und als Blutdruckstimulus zu verfolgen.

Eine intrazelluläre Erhöhung der osmotischen Kräfte ist durch vermehrte Stoffwechselaktivität mit reichlichem Abfall von osmotisch wirksamen Stoffwechselmetaboliten denkbar (45). Hierdurch würde der intrazelluläre Turgor ebenso erhöht, wie durch eine Steigerung der osmotischen Kraft innerhalb der Zelle durch die Neueinstellung eines Donnan - Gleichgewichtes an einer für Ionen nicht völlig impermeablen Membran (55).

Welche der oben aufgeführten Möglickeiten für die von uns festgestellten Änderungen des Hautturgors verantwortlich ge-

macht werden kann, kann mit unseren Messungen natürlich nicht entschieden werden.

Schwierig ist auch die Deutung des vorübergehenden Turgoranstieges am 7. und 8. Versuchstag, wobei jener dem Feuchteabfall am 7. Tag folgt; vor allen Dingen deshalb, weil der Turgor im Gegensatz zum übrigen Kurvenverlauf hier reziprok und nicht proportional mit der Feuchte geht. Dieses Verhalten des Hautturgors ist jedoch an allen Meßstellen und für alle Personen so deutlich, daß es nicht übersehen werden kann.

Man könnte dieses Phänomen durch einen momentanen, feuchteabfallbedingten Umstellungsstress des Kreislaufs und den sich daraus ergebenden Folgen für den Turgor zu erklären versuchen. Diese Behauptung wäre allerdings nicht ohne Widerspruch auf das oben Angeführte.

Die von P i r t k i e n (49) festgestellte Tagesrhythmik der Hautelastizität konnte von uns nicht gefunden werden. Das mag wohl daran liegen, daß das Ausmaß der von uns festgestellten Tagesschwankungen klein ist und wahrscheinlich noch in die Fehlerbreite der Methode fällt.

Diese Feststellung würde auch das unkoordinierte Verhalten des Hautturgors an verschiedenen Meßstellen während des Tagesganges erklären. Da es sich beim Hautturgor um ein Phänomen handelt, das alle Hautstellen betrifft, wäre wohl ein gleichsinniges Verhalten an allen Meßstellen zu erwarten.

Die Höhe des Turgors differiert zwischen den einzelnen Versuchspersonen nur gering. Dies spricht für die Feststellung von J a n s e n (40), daß die mechanischen Eigenschaften der Haut, die bei unserer Methode ja miterfaßt wurden, innerhalb einer Altersgruppe nur gering variieren.

Der im Vergleich zum Handrücken im Durchschnitt höhere Turgor an der Bauchhaut kann durch eine stärkere Vorspannung (42) erklärt werden. Diese kann durch größere Fettpolster, wie es am ausgeprägtesten bei Versuchsperson 5 der Fall war, die Bauchfülle, Verschiebung der Atemruhelage zur inspiratorischen Seite hin bedingt sein.

7. Zusammenfassung

7. 1. Drei männliche Versuchspersonen wurden während eines 19 - tägigen Versuches in einem Klimaraum wechselnder Raumfeuchte und Raumtemperatur bei konstanter Windgeschwindigkeit ausgesetzt. Die Schwankungen der Raumfeuchte bewegten sich zwischen 7,5 Torr und 16,5 Torr, die der Raumtemperaturen zwischen 20 °C und 22,6 °C. Es wurden "feuchte" und "trockene" Phasen gefahren.

7. 2. Dabei wurden die Hautwasserabgabe und die Hauttemperatur, der elektrische Hautwiderstand und der Hautturgor gemessen und die Beziehungen dieser Meßgrößen zur Raumfeuchte und Raumtemperatur untersucht.

7. 3. Die Messung der Hautwasserabgabe wurde mit einem Infrarotgasanalysator (URAS I), die der Hauttemperatur mit einem Manganin-Konstantan-Thermoelement vorgenommen. Es wurden am Tag 6 Messungen durchgeführt.

Der elektrische Hautwiderstand wurde mit einem Elektrodermatometer nach Regelsberger, der Hautturgor mit einem von K. Dirnagl entworfenen Gerät vormittags und nachmittags je einmal gemessen.

7. 4. Die angewandten Meßmethoden erfüllten die für eine Verwendung im Dauerversuch gestellten Forderungen nach einfacher Handhabung und zuverlässiger Arbeitsweise; sie sind zur Verlaufskontrolle einer Meßgröße geeignet.

7. 5. Die Verlaufsbeobachtung der verschiedenen Meßgrößen zeigt, daß jede innerhalb des 19-tägigen Versuches Schwankungen unterliegt. Es wird jedoch nicht in allen Fällen und bei allen Personen eine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Verhalten der Raumfeuchte oder der Raumtemperatur und dem einer beobachteten Meßgröße gefunden.

7. 5. 1. Im Tagesverlauf verhält sich bei allen Personen die Hauttemperatur gleichsinnig zur Raumtemperatur, die Hautwasserabgabe gegensinnig zur Raumfeuchte. Im Periodenverlauf

(gemeint ist hier der Verlauf einer Meßgröße über die 19-tägige Versuchsdauer) sind diese Beziehungen nur für einzelne Personen statistisch signifikant; hier beeinflußt die Raumfeuchte bei einer Versuchsperson die Hauttemperatur und die Hautwasserabgabe nur sehr gering. Diese Person wird als feuchtestabiler Typ charakterisiert; die Hautwasserabgabe einer anderen Person hingegen, die als feuchtelabiler Typ charakterisiert wird, verläuft während des ganzen Versuches gegensinnig zur Raumfeuchte. Der feuchtestabile Typ regelt die äußere Störgröße Raumtemperatur mit Hilfe der Hauttemperatur und der Hautwasserabgabe aus, der feuchtelabile Typ dagegen nur mit Hilfe der Hauttemperatur. Eine dritte Versuchsperson zeigt eine Übergangsform zwischen diesen beiden Varianten.

Die Maxima der Hautwasserabgabe und der Hauttemperatur liegen in der Regel nachmittags; lediglich nach jedem Feuchteabfall liegen die Maxima der Hautwasserabgabe an den beiden ersten Tagen vormittags; die Lage der Maxima der Hauttemperatur verändert sich jedoch nicht.

7. 5. 2. Die Leitwerte am Bauch und am Oberschenkel korrelieren signifikant positiv mit der Raumtemperatur. In Beziehung zur Raumfeuchte sind keine eindeutigen Korrelationen nachzuweisen. Die Leitwerte der Stirn sind von der Raumtemperatur und der Raumfeuchte relativ unabhängig; sie werden anscheinend von der Körperkerntemperatur entscheidend beeinflußt. Diese Ergebnisse treffen für alle Versuchspersonen sowohl für den Periodengang als auch den Tagesverlauf in gleichem Ausmaß zu.

7. 5. 3. Die Verformbarkeit der Haut des Handrückens und des Bauches zeigen bei allen Personen Schwankungen; meistens, jedoch nicht immer verhält sich die Verformbarkeit gegensinnig zur Raumfeuchte und Raumtemperatur. An einem Versuchstag verhält sich die Verformbarkeit bei steigender Raumfeuchte gleichsinnig zu dieser. Die Schwankungen der Verformbarkeit laufen jedoch mit einer Phasenverschiebung von einem Tag hinter den Schwankungen der Raumfeuchte und der Raumtemperatur her. Da die Raumfeuchte und die Raumtemperaturen den gleichen Periodengang zeigen, ist eine exakte Aussage, welche Größe für die

Änderungen des Hautturgors verantwortlich gemacht werden kann, nicht zu treffen.

7. 6. Es gibt keine Meßgröße, die sich bei allen Versuchspersonen gleich verhält. Die Hautwasserabgabe streut individuell erheblich; die Durchschnittswerte liegen hier bei einer Person bei 15,3 Mikrogramm/cm^2min, bei einer anderen um 22,7 Mikrogramm/cm^2min. Die Mittelwerte der Hauttemperaturen einer Meßstelle differieren um maximal o,9 °C zwischen den einzelnen Personen.

Die individuellen Unterschiede der elektrischen Leitwerte und des Hautturgors sind gering.

Bei allen Personen sind die Leitwerte am Oberschenkel am geringsten, an der Stirn am höchsten.

Der Hautturgor ist bei allen Personen im Durchschnitt am Handrücken geringer als am Bauch. Diejenige Versuchsperson mit dem höchsten Bauchhautturgor hat am Handrücken nicht den höchsten Hautturgor.

7. 7. Die Raumfeuchte und die Raumtemperaturen zeigen während des Versuches einen linearen Abwärtstrend.

Eindeutige Trendbeziehungen für alle Versuchspersonen finden sich nur bei den Hauttemperaturen; sie zeigen einen linearen Abwärtstrend.

Bei der Elektrodermatometrie weisen bei einer Versuchsperson die Leitwerte an allen Meßstellen einen linearen Aufwärtstrend auf.

Für die Hautwasserabgabe findet sich ebenfalls nur für eine, mit der vorgenannten nicht identischen Person ein linearer Aufwärtstrend.

Der Hautturgor zeigt an keiner Meßstelle für irgendeine Versuchsperson eindeutige Trendbeziehungen.

8. Literaturverzeichnis:

(1) F. Aichinger: Mit dem Elektrodermatometer erfaßbare Vorgänge in der Haut
Mat. Med. Nordmark III/7 (1951)

(2) K. Angele: Topographische Messungen zur insensiblen Hautwasserabgabe und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Einflüßen
Med. Diss. aus dem Baln. Inst. München (1966)

(3) J. Aschoff: Tagesrhythmen des Menschen bei völliger Isolation
Umschau in Wissenschaft und Technik 66, 378 (1966)

(4) J. Aschoff: Die obere Extremität im Dienste physikalischer Temperaturregelung
Pflügers Arch. 249, 148-166 (1947)

(5) J. Aschoff u. F. Kaempfer: Über den Wärmedurchgang durch die Haut und seine Änderung bei Vasokonstriktion
Pflügers Arch. 249, 112-124 (1947)

(6) J. Aschoff u. R. Wever: Die Abkühlung menschlicher Extremitäten
Pflügers Arch. 269, 207-213 (1959)

(7) J. Aschoff: Wärmehaushalt
in Landois-Rosemann, Lehrbuch der Physiologie S. 351-369
Urban u. Schwarzenberg-verlag München - Berlin (1960)

(8) J. Aschoff: Die Regulationsbreite der physikalischen Temperaturregelung
Pflügers Arch. 249, 137-147 (1947)

(9) J. Aschoff: Einige Gesetzmäßigkeiten physikalischer Temperaturregelung
Pflügers Arch. 249, 125-136 (1947)

(10) F. Becker u. U. Ströder: Wirkungen kurzfristiger Änderungen der Biosphäre
Handbuch der Bäder- u. Klimaheilkunde
S. 603-625
Friedrich-Schattauer-Verlag
Stuttgart (1962)

(11) F. Behmann: Die Vielfachregelung des Warmblüters zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur
Beihefte zur Regelungstechnik 89-104
(1961)

(12) B. Berde: Wärmeregulation und Endokrines System
Zschr.f.Vit.-Horm.-u.Fermentforschung
Wien IV 338 (1951)

(13) A. Bleichert: Grundlagen biologischer Regelung
Klin.Wschr. 40, 497-505 (1962)

(14) F. Börngen u. W. Herdiger: Zum Einfluß der Schweißdrüsen auf das Elektrodermatogramm
Wiener Klin.Wschr. 76, 696 (1964)

(15) K. Boman: Das Verhalten der Trigeminusrezeptoren bei Temperaturreizen
Ann.Med.Fenn. 38 (1960)

(16) G. B. Bradham: The use of a metabolic scale
Journ.Am.Med.Ass. 198, 746-749
(1966)

(17) F. Bundesmann: Messung verschiedener Einflüsse auf die Hautwasserabgabe mittels der Infrarotstrahlenabsorption
Med.Diss. aus dem Bain.Inst.München
(1966)

(18) K. Dirnagl: Die Wetterempfindlichkeit als Zivilisationsschaden
Arch.f.phys.Ther. 9, 250 (1957)

(19) H. O. Dorscheid: Beiträge zum Elektrodermatogramm nach Regelsberger
Zschr.ges.inn.Med. 8, 813 (1953)

(20) E. Ebbecke: Lokale vasomotorische Reaktionen der Haut
Pflügers Arch. 191, 1 (1921)

(21) R. Edelberg: Effect of vasoconstriction on galvanic skin-response-amplitude
Journ.Appl.Physiol. 19, 427 (1964)

(22) W. Feldberg: A new concept of temperature control in the hypothalamus
Proc. of the Royal Soc. of Med. 58, 395-404 (1965)

(23) M. M. Forell: Untersuchungen über das Elektrodermatogramm bei durch zentralnervösen Reiz ausgelösten vegetativen Reaktionen
Zschr.ges.exp.Med. 117, 171 (1951)

(24) W. Fricke: Methodische Beiträge zur fortlaufenden Messung der Perspiratio insensibilis kleiner Hautareale
Med.Diss. aus dem Baln.Inst.München (1966)

(25) F. Fuke: Studies of factors of the skintemperature variation
Journ.Jap.Baln.Climat.Assoc. 22, 51 (1958)

(26) Gebrauchsanleitung zum Elektrodermatometer nach Regelsberger
Siemens-Reiniger-AG Erlangen

(27) H.A. Gottron u. W. Schönfeld:
Dermatologie und Venerologie
Bd. I/Teil 1 134-141
Georg Thieme-Verlag Stuttgart
(1961)

(28) H.A. Gottron u. W. Schönfeld:
Dermatologie und Venerologie
Bd. I/Teil 1 179
Georg Thieme-Verlag Stuttgart
(1961)

(29) H.A. Gottron u. W. Schönfeld:
Dermatologie und Venerologie
Bd. I/Teil 2 921
Georg Thime-Verlag Stuttgart
(1962)

(30) H. Göpfert: Energiebedarf, in Landois-Rosemann
Lehrbuch der Physiologie S.264-266
Urban und Schwarzenberg-Verlag
München - Berlin (1960)

(31) O. Hauswirth: Hautwiderstandsmessungen und ihre
vegetative Bedeutung
Acta Neuroveg. 23, 372 (1962)

(32) S. Heberlein: Untersuchungen zur Abhängigkeit
der insensiblen Hautwasserabgabe
von der Luftfeuchte
Med.Diss. aus dem Baln.Inst.München
(1967)

(33) E. Heerd u. K. Ohara:
Untersuchungen über die Wasserdampf-
abgabe kleiner Hautflächen beim
Menschen
Pflügers Arch. 276, 32-41 (1962)

(34) E. Heerd u. Chr. Oppermann:
Untersuchungen über die Wasserdampfabgabe kleiner Hautflächen beim Menschen
Pflügers Arch. 291, 174-186 (1966)

(35) E. Heerd u. Chr. Oppermann:
Einfluß der Hauttemperatur auf die perspiratio insensibilis
Pflügers Arch. 291, 163-173 (1966)

(36) H. Hensel: Cutaneous heat-receptors in primates
Pflügers Arch. 313, 150 (1969)

(37) H. Hensel: Temperaturregelung, in Keidel
Lehrbuch der Physiologie S. 214-226
Georg Thieme-Verlag Stuttgart
(1967)

(38) F. Hildebrandt: Zur Tagesperiodik der physikalischen Temperaturregelung
Hess. Ärzteblatt 8 (1952)

(39) P.F. Iampetro: Heatexchange of man in the cold; effect of humidity, temperature and windspeed
Headquarters quartermasters research and engineering command, US - Army
(1958)

(40) L. H. Jansen: Elastisity of human skin related to age
Dermatologica Basel 115, 106 (1957)

(41) L. H. Jansen: Some mechanical properties of human abdominal skin
Dermatologica Basel 117, 65 (1958)

(42) J. Jochims: Grundzüge einer einfachen klinischen Prüfung der Hautdehnung
Arch. Kinderheilk. 133, 97 (1947)

(43) J. Jochims: Untersuchungen des mechanischen Verhaltens der Hautgewebe mit einer neuen Methode
Zschr. Kinderheilkunde 56, 81 (1934)

(44) J. Jochims: Turgor und Statik des gesunden und kranken Säuglings
Zschr. Kinderheilkunde 63, 555 (1942)

(45) J. Jochims: Untersuchungen über den Hautturgor bei Kindern
Zschr. Kinderheilkunde 57, 516 (1935)

(46) L. C. Johnson u. N. L. Corah:
Racial differences in skinresistance
Science 139, 766 (1963)

(47) W. D. Keidel: Spezielle Physiologie der Thermorezeptoren, in Marchionini u. Spier
Handbuch der Haut- u. Geschlechtskrankheiten S. 206-216
Bd. I/Teil 3
Springer-Verlag Berlin (1960)

(48) Ph. Keller: Elektrophysiologie der Haut, in Marchionini u. Spier
Handbuch der Haut- u. Geschlechtskrankheiten S. 37-86
Bd. I/Teil 3
Springer-Verlag Berlin (1963)

(49) Ph. Keller: Mechanische Eigenschaften der Haut, in Marchionini u. Spier
Handbuch der Haut- u. Geschlechtskrankheiten S. 1-18
Bd. I/Teil 3
Springer-Verlag Berlin (1963)

(50) H. Klappich: Die Oberflächenfeuchte der Haut und ihre meteorologischen Beziehungen
Zschr.ges.exp.Med. 103, 363 (1938)

(51) H. E. Kleine-Natrop: Physikalische Funktionsprüfung der Hautdurchblutung, in Gottron u. Schönfeld
Dermatologie u. Venerologie S. 588--596 Bd. I/Teil 1
Georg Thieme-Verlag Stuttgart (1961)

(52) R. A. Krause, H. Storz u. A. Voelkel:
Gleichstrommessung an der menschlichen Haut bei Quellung und Entquellung des Gewebes
Klin.Wschr. 35, 674 (1957)

(53) E. Moldaencke: Vegetatives Nervensystem und scheinbarer Hautwiderstand
Med.Diss. aus der Med. Klinik Marburg (1948)

(54) J. D. Montagu: The psychogalvanic reflex. A comparison of A.C.Skinresistance and Skinpotentialchanges
Journ.Neurology, Neurosurg., Psychatr. 21, 119 (1958)

(55) H. Netter: Elektrolyt- u. Wasserhaushalt, in Landois-Rosemann
Lehrbuch der Physiologie S. 371-390
Urban u. Schwarzenberg-Verlag
München Stuttgart (1960)

(56) H. Pfleiderer: Haut und Klima
Dtsch.med.Wschr. 63, 635 (1937)

(57) H. Pfleiderer: Extrarenaler Wasserhaushalt und dessen Abhängigkeit von klimatischen Bedingungen
Zschr.angew.Bäder- u. Klimaheilk. 3, 71-81 (1956)

(58) H. Regelsberger: Der bedingte Reflex und die vegetative Rhythmik des Menschen, dargestellt am Elektrodermatogramm
Acta Neuroveg. Suppl. I

(59) H. Regelsberger: Das Elektrodermatogramm und seine Messung
Med.Klinik 44, 817-825 (1949)

(60) F. Rembold: Die Hauttemperatur und ihre Wetterabhängigkeit
Med.Diss. aus dem Hyg.Inst. München (1950)

(61) H. Roeser-Bley: Vergleichende Untersuchungen über Wettereinflüße auf das Befinden und auf physiologische Meßgrößen bei Kurgästen in verschiedenen bayerischen Kurorten an Hand von Temperatur und Feuchte, sowie des Wetterphasenschemas der Bad Tölzer Arbeitsmethode
Med.Diss. aus dem Baln.Inst.München (1968)

(62) E. Ruppelt: Über einige mechanische Eigenschaften der Haut
Zschr.Biologie 98, 49 (1937)

(63) T. Sasaki u. L. D. Carlson: Seasonal changes in metabolic response to temperature changes
Soc. of exp.Biol. and Med. 117, 332-333 (1964)

(64) J.H. Scharf: Vorstudien zu einer exakten Regelungstheorie des Zwischenhirn-Hypophysenvorderlappen-Schilddrüsensystems in Abhängigkeit von der Umwelttemperatur
Elektronische Informationsverarbeitung und Kybernetik 1, (1965)

(65) B. J. Shaver: Origin of the galvanic skinresponse Proc.Science exp.Biol. 110, 559 (1962)

(66) Ch. Sheard, G. M. Roth u. B. T. Horton: Normal vasospasm, vasoconstriction at environmental temperature Science and Industrie S. 502 (1941)

(67) H. Sommer: Untersuchungen über den sekretorischen Anteil der perspiratio insensibilis kleiner Hautflächen beim Menschen Med.Diss. aus dem Phys.Inst.d.Justus-Liebig-Universität zu Gießen u. d. W. G. Kerkhoff-Inst. d. Max-Planck-Gesellschaft in Bad Nauheim (1969)

(68) G. Stüttgen: Physiologie und Pathophysiologie der Haut, in A.G. Bode u. G.W. Korting, Lehrbuch der Haut-u. Geschlechtskrankheiten S.1-20 Bd.I Gustav Fischer-Verlag Stuttgart (1970)

(69) A. J. Stunhard: Skintemperature after eating Amer.Journ.of the Med.Sciences 244, 5 (1962)

(70) J. Szillard: Untersuchungen der Änderung der Hautkapazität und des Hautwiderstandes Arch.Phys.Ther. 13, 411 (1961)

(71) R. Thauer: Physiologie der Wäremregulation Acta neuroveg. 10, 12 (1955)

(72) A. Topitz: Neue Gedanken über Beziehungen biologischer Rhythmen zu Klima und Wetter aus der Sicht der prophylaktischen Medizin Prophylaxa und Therapie 10, (1962)

(73) D. Trincker: Zentrale und periphere Wärmeregulation
Die Medizinische 7, 271-279 (1959)

(74) R. Wagner: Zur Geschichte der Problematik biologischer Regelung
Med. Klinik 56, 337-340 (1961)

(75) H. Wagner: Die beobachtung der vegetativen Reizbeantwortung durch Hautwiderstandsmessung
Ärztliche Forschung 10, 123 (1956)

(76) H. Weiler: Die insensible Hautwasserabgabe in Abhängigkeit von der lokalen Hauttemperatur, der allgemeinen thermoregulatorischen Situation und weiteren Faktoren
Med.Diss. aus dem Baln.Inst.München (1957)

(77) H. G. Wenzel: Untersuchungen über die Dehnbarkeit und Zerreißbarkeit der Haut
Zbl.allg.Path.u.path.Anat. 85, 117 (1949)

(78) R. Wever: Das Schwingungsgesetz der biologischen Tagesrhythmik
Umschau in Wissenschaft und Technik 66, 462 (1966)

(79) R. Wever: Alternierender Wechsel der Hautdurchblutung in verschiedenen Abschnitten einer Extremität
Pflügers Arch. 249, (1947)

(80) K. Wezler u. R. Thauer: Wärmeregulatorische Umstellung des

Organismus bei wechselnden Klimabedingungen
Luftfahrtmedizin 8, 224-241 (1942)

(81) K. Wezler: Der Einfluß klimatischer Faktoren auf den Menschen
Schriftenreihe des Deutschen Bäderverbandes Heft 5 (1949)

An dieser Stelle möchte ich Herrn Akadem. Dir. Dipl. Phys. K. Dirnagl für die freundliche Überlassung des Themas, sowie insbesondere für die wertvollen Hinweise und die bereitwillige Hilfe bei der Abfassung der Arbeit danken.
Herrn Prof. Dr. H. Drexel danke ich für die zuvorkommende Betreuung während der Durchführung des experimentellen Teils der Versuche.
Ferner gilt mein Dank Herrn Dr. H. Pratzel für seine Arbeit bei der Durchführung der Rechenprogramme und bei der Erstellung der Computerkurven.

L e b e n s l a u f

Am 21.1.44 wurde ich, Gerd Rudolf Hohlbach, als Sohn des Hauptmanns Rudolf Max Hohlbach und dessen Ehefrau Anneliese, geborene Maderlechner, in Erding geboren.

Im Jahre 1950 begann ich meine Schulausbildung an der Volksschule Erding, 1954 trat ich an die Oberrealschule Erding über, die ich im Juli 1963 mit dem Zeugnis der Reife verließ.

In der Zeit vom Oktober 1963 bis September 1965 leistete ich den Wehrdienst als Soldat der Bundeswehr ab.

Im Wintersemester 1965/66 begann ich an der Ludwig - Maximilian - Universität München das Studium der Humanmedizin. Hier legte ich im September 1966 die naturwissenschaftliche Vorprüfung, im April 1968 die ärztliche Vorprüfung und im Juni 1971 das medizinische Staatsexamen jeweils mit sehr gutem Erfolg ab.

Seit dem 1. September 1971 bin ich als Medizinalassistent an der Inneren Abteilung des Städtischen Krankenhauses Erding tätig.